



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

### **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“MEDICIÓN ESPECTRAL Y ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES EN LA BANDA DE 1900 MHz, TECNOLOGÍA 3G (1865-1970MHz), Y MODELAMIENTO ESTADÍSTICO PARA EL POSIBLE USO DE DISPOSITIVOS CON ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO EN UN EDIFICIO EN EL NORTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

### **INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previa a la obtención del Título de:

### **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Giuseppe André Brando Ortega

Christian Eduardo Nivelá Correa

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis más sinceros agradecimientos a Dios por darme salud y fortaleza para poder alcanzar esta meta, también a mis padres, mi familia, mis amigos y mis profesores que en todo este tiempo de vida universitaria aportaron para que pueda alcanzar mi sueño y mi primera meta de vida.

**Giuseppe André Brando Ortega.**

Agradezco primeramente a Dios por iluminarme durante todo este trayecto y por darme las fuerzas necesarias para no rendirme nunca, a mis padres por brindarme su ayuda incondicional, a mis profesores por impartir sus conocimientos que me serán de utilidad en la vida profesional, finalmente agradezco a mis compañeros y amigos que lucharon conmigo esta batalla en los momentos más duros, gracias a todos.

**Christian Eduardo Nivelá Correa.**

## **DEDICATORIA**

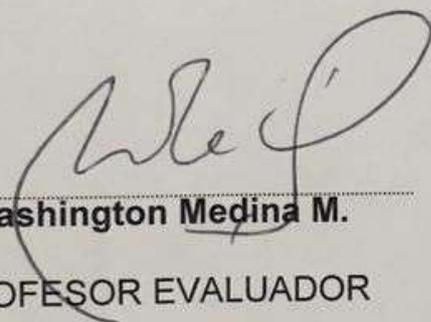
El presente proyecto lo dedico a Dios por darme la fortaleza necesaria para poder levantarme cada vez que tenía una adversidad, A mis padres Rosa Ortega y Rino Brando por darme el principal consejo que necesitaba para seguir "Nosotros creemos en ti, vamos que tú puedes, cabe recalcar que sin ellos nada de esto hubiera sido posible, A mis abuelos PACO, DIOSA, CUCA y como no acordarme de "MAMITA BLANCA" ustedes son la fuente de mi inspiración y de salir adelante. Finalmente, a TODOS mis amigos por ayudarme en todo momento y aconsejarme.

**Giuseppe André Brando Ortega**

Este primer logro en mi vida lo dedico principalmente a mis padres, que me brindaron su ayuda durante toda mi vida universitaria, desde las cosas más sencillas como un implemento material, hasta los actos más valiosos como elevar una oración por mí al momento de rendir un examen, ellos fueron los puntales fundamentales para este logro, especialmente mi madre, lo dedico también a mi hermano y a mi familia por creer en mí en todo momento, a todas las personas que de una u otra manera aportaron para poder cumplir este objetivo, a quienes creyeron y a los que no, en fin, gracias a todos.

**Christian Eduardo Nivelá Correa**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



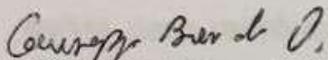
Washington Medina M.  
PROFESOR EVALUADOR

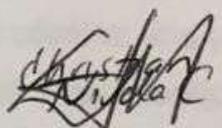


José Miguel Menéndez S.  
PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
Giuseppe Brando O.

  
Christian Nivelá C.

## RESUMEN

En los últimos años las Telecomunicaciones han tenido un gran crecimiento ya sea en tecnología como en usuarios que las utilizan, es por esa razón que en la actualidad existen técnicas para aprovechar el espectro radioeléctrico en su totalidad y tratar de ocupar la mayoría del tiempo todo el espectro, debido a que las diferentes bandas donde funcionan las tecnologías celulares tienen la particularidad de tener un ancho de banda muy escaso, el problema se presenta en la escasez de frecuencia por el incremento de usuarios y servicios móviles que requieren gran cantidad de ancho de banda, los rangos donde operan las compañías de Redes Móviles ya están asignados dependiendo del país y las operadoras celulares, en este estudio se analiza dicha escasez y se busca dar una posible solución, por esa razón se plantea una posible salida para resolver este problema que en la actualidad se está presentando, esta solución es el acceso oportuno al espectro mediante dispositivos que soporten esta tecnología y así poder aprovechar los espacios de espectro que no están siendo utilizados durante un determinado tiempo, esta tecnología abre las puertas a una nueva era de tecnologías, ya que soluciona un gran problema como la escasez de espectro y permite brindar servicios hacia nuevos usuarios sin perjudicar a los existentes.

En el presente trabajo, se propone el estudio de la banda de 1900Mhz que soporta la tecnología 3G con la finalidad de implementar nuevas tecnologías que permitan el acceso oportuno al espectro en esta banda, los resultados de este estudio luego de un arduo análisis permitieron modelar y cuantificar la disponibilidad de canales, como conclusiones se obtuvo que para este caso particular existe una probabilidad del 90% de encontrar dos canales libres y que estos mismos están aptos para ser utilizados con dispositivos que soporten la tecnología de acceso oportuno al espectro, también se pudo realizar un modelo estadístico que representa el comportamiento de los datos obtenidos mediante las mediciones, este modelo estadístico se basa en la variable estadística GEN.EXTREME.VALUE, que cumplió con todas las pruebas realizadas y es el mejor modelo que se adapta al comportamiento de los datos analizados dejando muy claro que cualquier análisis del comportamiento de los datos se estiman hacia la variable antes mencionada.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

OSA: Acceso Oportuno al Espectro

DSA: Acceso Dinámico al Espectro

UMTS: Servicio Móvil Universal de Telecomunicaciones

FCC: Comisión Federal de Comunicaciones

RC: Radio Cognitiva

SMS: Servicio de mensajes cortos

GEN EXTREME VALUE: Variable Estadística Generalizada de Valor extremo

SRI: Servicio de Rentas Internas

USRP: Universal Software Radio Periférico

FDMA: Acceso Múltiple por división de frecuencia

AMPS: Sistema de Teléfono Móvil Avanzado

GSM: Sistema Global para las Comunicaciones Móviles

MMS: Servicio de mensajes multimedia

TDMA: Acceso múltiple por división de tiempo

CDMA: Acceso múltiple por división de código

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones

IMT-2000: Telecomunicaciones Móviles Internacionales

UTRA: Acceso de Radio Terrestre Universal

TDD: División de tiempo duplex

FDD: División de frecuencia duplex

WCDMA: Acceso múltiple por división de código de banda ancha

ETSI: Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones

UTRA: Acceso de Radio Terrestre Universal

RAN: Red de Acceso de Radio

WHITE HOLES: Espacios en blanco del espectro que se encuentran inutilizados

Banda ICM: Banda del espectro para uso Industrial Científico y Médico

PU: Usuarios primarios o con licencia de uso del Espectro Radioeléctrico

SU: Usuarios secundarios o sin licencia de uso del Espectro Radioeléctrico

UNDERLAY: Compartición subyacente del espectro

OVERLAY: Compartición sobrepuesta del espectro

SNR: Relación Señal vs Ruido

CSD: Función de densidad espectral cíclica

SDR: Radios definidas por software

EDGE: Tasas de Datos Mejorada para la evolución de GSM

LTE: Long Term Evolution, evolución a largo plazo

CRN: Redes de Radio Cognitiva

HANDOFF: Se refiere al cambio de conexión o transferencia del servicio del nodo de una red inalámbrica entre redes heterogéneas como UMTS y WLAN y que se utiliza para mantener la comunicación cuando la calidad del enlace es insuficiente, generalmente para brindar movilidad.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	2
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	4
DECLARACIÓN EXPRESA.....	5
RESUMEN.....	6
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	7
ÍNDICE GENERAL.....	9
CAPÍTULO 1.....	12
<b>1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Problema a resolver.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.1 Objetivos Generales.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Alcance.....</b>	<b>18</b>
CAPÍTULO 2.....	19
<b>2. ESTADO DEL ARTE MUNDIAL.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Desarrollo de la Comunicación Móvil.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Primera Generación (Tecnología 1G).....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1 Segunda Generación (Tecnología 2G).....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Tercera Generación (3G).....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1 Servicio Móvil Universal de Telecomunicaciones.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2 Migración hacia UMTS.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3 Servicios UMTS.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.4 CDMA2000.....</b>	<b>28</b>

2.4	Tercera Generación (3G) en Ecuador .....	29
2.5	Acceso Dinámico al Espectro (DSA) .....	30
2.5.1	Definición de DSA .....	30
2.5.2	Objetivo de DSA .....	30
2.5.3	Tipos de Acceso Dinámico al Espectro.....	31
2.5.4	Licencias Dinámicas (Uso Exclusivo del Espectro) ....	32
2.5.5	Compartición Dinámica del Espectro (Coexistencia)..	32
2.5.6	Usuarios primarios y Secundarios .....	34
2.5.7	Compartición Underlay y Overlay del Espectro.....	35
2.6	Acceso Oportunista al Espectro (OSA) .....	37
2.6.1	Definición de OSA .....	37
2.6.2	Objetivo del sistema OSA .....	38
2.6.3	Características del sistema OSA.....	38
2.7	Radio Cognitiva (RC).....	39
2.7.1	Definición de Radio Cognitiva .....	39
2.7.2	Origen de SDR como plataforma para manejar RC .....	40
2.7.3	Introducción a SDR (Software Definied Radio).....	41
2.7.4	Definición y aspectos fundamentales de un SDR .....	42
2.7.5	Características técnicas de los SDRs.....	42
2.7.6	Funcionamiento de SDRs en sistemas de RC .....	43
2.7.7	Capacidades de la Radio Cognitiva .....	44
2.7.8	Capacidades Cognoscitivas .....	45
2.7.9	Capacidades Reconfigurables .....	46
2.7.10	Capacidades de Auto Organización .....	47
2.7.11	El Ciclo Cognitivo .....	49
CAPÍTULO 3.....		50
3.	DESCRIPCION DEL ESCENARIO DE ESTUDIO .....	50
3.1	Metodología .....	50
3.2	Modelamiento .....	57

CAPÍTULO 4.....	63
<b>4. ANALISIS DE DATOS Y EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Configuración de equipo USRP .....</b>	<b>63</b>
<b>4.2 Procesamiento de datos en Matlab.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.1 Validación de los niveles de potencia obtenidos .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2 Muestreo de los niveles de potencia por canales .....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.3 Obtención de gráficos estadísticos .....</b>	<b>94</b>
<b>4.2.4 Encontrar la mejor solución al problema .....</b>	<b>96</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS.....	110

# CAPÍTULO 1

## 1. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 Antecedentes

A través de los años la tecnología y las telecomunicaciones se han convertido en una necesidad más no en un lujo, por esa razón las comunicaciones inalámbricas han tenido un crecimiento muy grande principalmente la telefonía celular, que se inició con el simple hecho de realizar una llamada mediante un dispositivo conocido como Teléfono Móvil (Celular). En la actualidad este dispositivo no sólo sirve para realizar una llamada, sino que se ha convertido en una herramienta esencial para el ser humano, ya que con él se pueden realizar varias actividades, desde escuchar una simple canción, observar un video, hasta administrar el más grande negocio. Todo esto se debe a las diferentes aplicaciones y servicios que en la actualidad existen. La telefonía celular aparece en los años 1979, esta se la conocía como 1G, esta tecnología era muy básica, prácticamente solo servía para poder hacer una llamada ya que tenía velocidades de 2400 baudios que es muy baja para poder realizar otras operaciones como las que existen en la actualidad. [1]

Alrededor del año 1990 surgió una nueva tecnología denominada 2G, la cual ya era una tecnología digital con sistemas de codificación de llamadas y sistemas de SMS (Servicio de Mensajes Cortos). [1]

Luego surgió 2.5G pero esta tecnología fue un preámbulo para 3G, la tecnología 3G fue la que gobernó por años el mercado ya que era la más rápida se podía navegar por internet descargar música, video y demás contenidos a velocidades de 384 Kbps. 3G dió un cambio radical en las telecomunicaciones, al ser muy rápido las personas utilizaron por mucho

tiempo este servicio, pero a la vez pedían más exigencia y esto dió paso a la actual tecnología 4G, que ofrece velocidades hasta 50 veces más que 3G. [1]

En los últimos tiempos se ha notado un aumento significativo en la utilización de tecnologías inalámbricas en aplicaciones que hoy en día son una realidad en distintos ámbitos que comprenden desde lo investigativo, académico, militar, la salud, el comercio, hasta lo comercial. En escenarios en donde el despliegue de redes de telecomunicaciones va acompañado de crecientes exigencias por parte de los usuarios, el manejo del espectro y la utilización de tecnologías y redes de que hacen uso de él, se vuelve una problemática no solamente para la orientación en investigación y desarrollo, sino también en aspectos de negocios y de regulación. [2]

Algunos estudios realizados por la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) a comienzos del milenio permiten llegar a tres conclusiones en estos aspectos, en primer lugar, que para determinados instantes de tiempo es utilizado solamente un porcentaje relativamente pequeño del espectro para la respectiva gestión de sistemas de telecomunicaciones, luego, se pudo concluir que la escasez y saturación del recurso radioeléctrico es causado en mayor medida gracias a las leyes de regulación que rigen actualmente a las telecomunicaciones, que a una incapacidad física del espectro, y finalmente, es indispensable crear nuevas políticas y tecnologías que optimicen el uso general de este recurso espectral. [3]

Con el antecedente antes mencionado, se están dirigiendo esfuerzos significativos a nivel mundial para el desarrollo de tecnologías que simplifiquen la realización de los objetivos ya mencionados para la implementación de las redes de la nueva generación, por esa razón, uno de los caminos para solucionar parcialmente este problema, es la creación de nuevos esquemas para el acceso y oportuno del espectro radioeléctrico. [4]

## 1.2 Problema a resolver

En el Ecuador el problema de la falta de espectro debido a la no optimización del mismo está siendo motivo de gran preocupación, esto se debe al gran avance tecnológico que ha tenido el país en los últimos 10 años, tanto es así que las frecuencias licenciadas por el estado prácticamente están copadas, entre ellas se encuentran las de diferentes servicios tales como: Radio AM, Radio FM, Televisión Analógica, Televisión Digital, Telefonía Celular (Todas Las Tecnologías), el análisis de este estudio se va a enfocar en la tecnología celular para analizar un posible Acceso Oportuno del Espectro, esto significa que se va a realizar un estudio en la frecuencia que operan las compañías celulares en el país, para tratar de resolver el problema y en caso de encontrar una solución poder aplicarla, dicha solución consistirá en observar si en la frecuencia seleccionada se encuentra libre el espectro.[5]

Existen tres parámetros indispensables a considerar:

**Ubicación Geográfica:** se escogió la ciudad de Guayaquil por motivos inherentes al estudio a realizar, el principal de ellos es el cumplimiento de un requisito importante para la problemática de este estudio, los edificios, y además por la facilidad de realizar las mediciones dentro de los mismos.

**Población:** Guayaquil posee aproximadamente 2.5 millones de habitantes, por tanto, esto implica que exista mucha demanda de usuarios de servicios de telecomunicaciones, debido a esta necesidad las empresas de telecomunicaciones deben ocupar eficientemente el espectro, principalmente en la tecnología celular, que es la más utilizada en esta ciudad.

**Servicios de Telecomunicaciones:** La telefonía celular es el servicio más utilizado en la ciudad de Guayaquil, el cual tiene diferentes tecnologías en diferentes rangos de frecuencia, tal como se muestra en la Tabla 1.

TECNOLOGÍA	CLARO	MOVISTAR
<b>2G (GSM)</b>	824 a 835 MHz, 845 a 846.5 MHz, 869 a 880 MHz, 890 a 891.5 MHz.	835 a 845 MHz, 846.5 a 849 MHz, 880 a 890 MHz, 891.5 a 894 MHz.
<b>2.5G (GPRS -EDGE)</b>	850/900/1800 MHz	850/900/1800MHz
<b>3G WCDMA</b>	1900 MHz	1900 MHz
<b>3.5G (HSDPA)</b>	1920 MHz	1910 MHz
<b>4G LTE</b>	1700 - 2100 MHz	1700 - 2100MHz

**Tabla 1. Bandas de Frecuencia de Claro y Movistar [6]**

Una vez planteado el problema se procederá a especificar las restricciones del caso, el estudio se realizará en el edificio del SRI (Servicio de Rentas Internas) edificio de 11 pisos, ubicado en la ciudadela Kennedy (ver figura 1.2.1), la Banda a estudiar es de 1900 MHz (Tecnología 3G) de las dos operadoras (Claro y Movistar).



**Figura 1.2.1: Mapa de ubicación geográfica Edificio SRI**

OPERADORA	CLARO	MOVISTAR
3G DOWNLINK	1965-1970 MHZ	1945-1950 MHZ
3G UPLINK	1885-1890 MHz	1865-1870MHz

**Tabla 2. Bandas de Frecuencia Operadoras (Uplink - Downlink) [6]**

Se analizará la disponibilidad de espectro en la banda mencionada anteriormente con las restricciones especificadas.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivos Generales.

- Medir el Espectro Radioeléctrico de la banda (1865-1970Mhz) tecnología 3G, de las operadoras Claro y Movistar en la ciudad de Guayaquil.
- Analizar la disponibilidad de canales para poder desarrollar un modelo estadístico para el uso óptimo del mismo.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos.

- Analizar el Espectro Radioeléctrico mediante la USRP (equipo de medición).
- Realizar algoritmos para la configuración de los equipos de medición.
- Medir los niveles de potencia de la banda 1900 MHZ de las operadoras Claro y Movistar.
- Determinar la disponibilidad de los canales de la banda 1900.
- Encontrar el modelo de predicción para la disponibilidad del canal.
- Comprobar el modelo encontrado.

#### **1.4 Justificación**

Uno de los grandes problemas en la actualidad es el uso optimizado del espectro, esto abre las puertas al sistema OSA (Acceso Oportuno al Espectro) que indica un eficiente uso del espectro radioeléctrico, el cual permite que usuarios de bandas no licenciadas puedan acceder a rangos de espectros en bandas con licencia con la finalidad de dar un servicio y que no interfiera en el funcionamiento de dicha banda.

Para que el sistema OSA pueda ser implementado en los dispositivos se debe analizar el espectro para encontrar espacios en blanco y saber dónde el dispositivo puede transmitir la información.

Los espacios en blanco se encuentran en todo el espectro es por eso que se debe analizar la mayor parte del espectro, a nivel mundial esto ya se ha realizado en diferentes países y se ha demostrado que uno de las bandas donde el sistema OSA se puede aprovechar es la de TV.

En el país ya se han realizado estudios determinando un posible uso del sistema OSA para la banda de televisión UHF [7], debido a esto se escoge la banda 1900MHZ para dar otra posible solución a la no optimización del uso del espectro en el Ecuador, este análisis se lo hará con la particularidad que el estudio se va a realizar en zonas urbanas dentro de un edificio.

Con lo antes mencionado, se propone realizar un estudio de disponibilidad de espectro en la banda 1900MHZ para el uso de dispositivos que utilicen sistema OSA en Ecuador. Se realizará una captura de datos la cual nos ayudara a realizar un modelo estadístico el cual nos acerca a una tendencia y esa misma nos dirá si la banda antes mencionada es útil para el uso de dispositivos que soporten al sistema OSA.

## **1.5 Alcance**

En la realización de este proyecto se va a tomar muestras de la banda 1900Mhz, estas mismas serán tomadas con un analizador de Espectro (USRP) marca Agilent, modelo E4404B y con una antena SIRIO SD 2000U.

La USRP se encargará de receptar todas señales de la banda 1900Mhz y el programa en LabView validará los datos y los guardará en un archivo de Excel en una computadora para luego dichos datos ser analizados.

Una vez que se obtienen los datos se realizará un análisis estadístico en el cual se compararán los resultados obtenidos con tres variables estadísticas ya conocidas, y así poder dar una posible solución al problema.

La finalización del proyecto es cuando después del análisis estadístico se determina que los datos tienden a un modelo estadístico ya conocido y esto ayudara a que en próximos estudios se puedan crear aplicaciones de acceso oportuno del espectro en el Ecuador.

## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE MUNDIAL

El sistema celular en los últimos años ha tenido un crecimiento exponencial, la problemática en diferentes países es el incremento de usuarios al servicio celular como en el caso de México que según estudios tiene más de 5 millones de usuarios utilizando la tecnología 3G esto complica al uso de frecuencia, debido a que al ver más usuarios y más servicios esto demandan mayor utilización de ancho de banda. [8]

Esto ocasiona que existan problemas de no optimizar el uso del espectro, esto se refleja en bandas totalmente llenas de usuarios y a la vez se observa que hay bandas donde existe espacio, pero no se puede acceder por problemas de licencia, según estudios se ha demostrado que el espectro radioeléctrico no tiene una optimización de sus bandas, es decir que existen bandas que no se ocupan en su totalidad; la no utilización de estos espacios principalmente es por la falta de tecnología ya que en la actualidad no hay dispositivos que trabajen bajo dicha tecnología[9].

Adicional a esto, actualmente se tiene la creencia que se están colapsando las frecuencias del espectro utilizables. Tanto es así que en Estados Unidos se ha abarrotado la tabla de asignación frecuencias y se llegan a pagar hasta billones de dólares por un ancho de banda de 20 MHz, mientras que en Europa han incrementado las subastas de espectro en la banda de 3G. [10].

En este contexto, surge una gran interrogante sobre si realmente se está colapsando la capacidad del espectro, o si por el contrario, en cualquier momento y lugar determinado, gran parte del espectro se encuentra inactivo o desperdiciado. Esta disyuntiva indica que los resultados de la escasez de espectro debido a las muy poco oportunas políticas de gestión del espectro son el verdadero motivo de la escasez física de frecuencias utilizables. Las bandas de frecuencia en estado de inactividad durante ciertos instantes de tiempo son inevitables bajo las políticas de asignación de espectro actuales, que otorgan el uso exclusivo del mismo únicamente a los titulares de las licencias [11].

La subutilización del espectro ha estimulado una serie de emocionantes actividades de ingeniería, economía, y comunidades de regulación, en búsqueda de una mejor gestión del espectro por medio de políticas y técnicas más oportunas. La diversidad de ideas previstas sobre la reforma del espectro, se reflejan en la gran cantidad de términos técnicos vinculados hasta el momento, OSA, DSA (Acceso dinámico al espectro), RC (Radio Cognitiva), usuarios primarios y secundarios, entre otros [12].

## 2.1 Desarrollo de la Comunicación Móvil

En los primeros años las comunicaciones móviles no eran muy usadas ya que en los años 70 no existían tantos usuarios que utilicen esta tecnología, pero con el tiempo los usuarios fueron creciendo hasta llegar a millones de usuarios en todo el mundo.

En la actualidad la comunicación Móvil tiene una gran cantidad de tecnologías que a través del tiempo se han desarrollado como se puede observar en la Figura 2.1.1 [13]



Figura 2.1.1: Evolución de la Telefonía Celular [13]

## **2.2 Primera Generación (Tecnología 1G)**

Los sistemas de la primera generación (1G) se basaban en transmisiones analógicas con bajas velocidades, esto se veía reflejado al momento de realizar llamadas, ya que estas tenían problemas de interferencia y retraso, era un servicio muy básico. Esta tecnología utilizaba la técnica de Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), y tenía un cupo limitado de usuarios. [13]

Uno de los primeros sistemas celulares en el mundo entró en funcionamiento en Japón específicamente en Tokio, alrededor del año 1979, esta utilizaba 600 canales dúplex en la banda de 800-900Mhz con una separación de canales de 25-30 KHz, luego de dos años este sistema llegó a Europa y funcionó en la banda 450 MHz. Al final de los años 80 la tecnología abarcó toda Europa, en Estados Unidos se utilizó la Primera Generación (1G) pero con la tecnología AMPS (Sistema de Teléfono Móvil Avanzado). [13]

Con el pasar de los años se llegó a la conclusión de que la tecnología 1G ya no era útil debido a su alto precio y a la aparición de nuevas tecnologías con circuitos integrados, esto abrió las puertas para las comunicaciones digitales y por lo tanto abrió paso a nuevas generaciones de telefonía móvil como lo es 2G. [8]

### **2.2.1 Segunda Generación (Tecnología 2G)**

Los sistemas de la segunda generación (2G) surgieron en los años 90 especialmente en Europa bajo la tecnología GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles). Estos sistemas son mejores con respecto al sistema de primera generación (1G), uno de los grandes cambios fue el aumento de calidad de llamada y la implementación de la transmisión de datos. [13] En la segunda generación se crearon más tecnologías compatibles para este sistema, estas tenían sus propias características, estas tecnologías son:

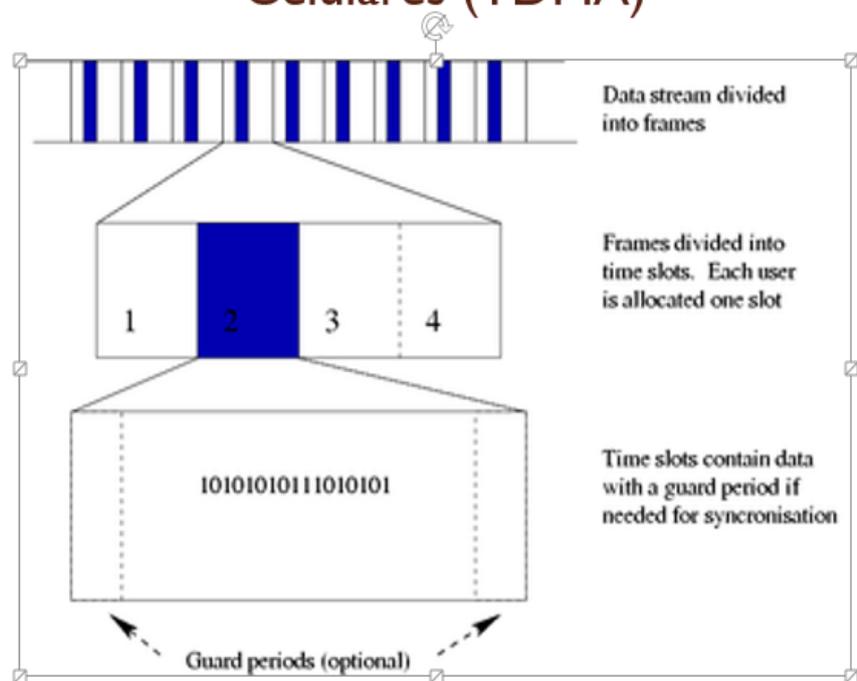
Canales Portadora	Portadora (KHz)	Banda de Frecuencia (MHz)	Modulación	Método de Acceso	Región	Sistema
8	200	935-960/890-915	GMSK	TDMA/FDD	Europa/Asia	<b>GSM</b>
3	30	869-894/824-849	DQPSK	TDMA/FDD	USA	<b>IS-54</b>
3	25	810-826/940-956	DQPSK	TDMA/FDD	JAPÓN	<b>JDC</b>
Variable	1.250	869-894/824-849	QPSK	TDMA/FDD	USA/Asia	<b>IS-95</b>

**Tabla 3. Sistemas Tecnológicos de la Segunda Generación de Telefonía Móvil [14]**

En este nuevo sistema se implementó el servicio de SMS y MMS (Servicio de Mensajería Multimedia) y aumento la seguridad de la transmisión. Los sistemas de segunda generación tienen los siguientes métodos de acceso:

- **TDMA:** Acceso múltiple por división de tiempo, es una técnica que permite transmitir señales digitales con la intención de mejorar la ocupación del espectro del canal de transmisión.
- **CDMA:** Acceso múltiple por división de código, es una técnica que utiliza el espectro que se considera ensanchado y esta permite retransmitir una señal por medio de un amplio de rangos de frecuencias.

## Segunda Generación de Estándares Celulares (TDMA)



**Figura 2.2.1: Estándar utilizado en 2G [14]**

### 2.3 Tercera Generación (3G)

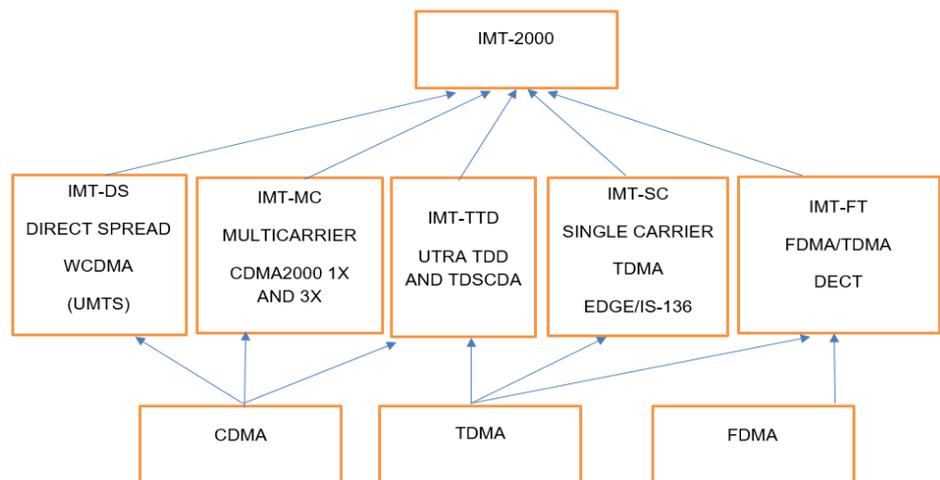
El incremento rápido de los usuarios y demandas por los servicios de telefonía móvil ya sean voz o datos, han impulsado el desarrollo de la tecnología de redes móviles inalámbricas, la tercera generación (3G) es la que ha recibido y sigue recibiendo la responsabilidad de facilitar las demandas de altas velocidades de los usuarios.

La tercera generación junto con todas sus tecnologías fue denominada por la Unión internacional de Telecomunicaciones (ITU) con el nombre de (IMT-2000) Telecomunicaciones Móviles Internacionales. Este término indica las especificaciones tanto de cobertura y de acceso que se define para poder utilizar esta tecnología. IMT-2000 permite servicios de alta velocidades utilizando uno o varios canales de radio entre los servicios que presta están:

- Global Standard.
- Compatibilidad de servicios entre IMT-2000 y otras redes.
- Alta calidad.
- La misma banda de frecuencia en todo el mundo.
- Usa terminales pequeñas en todo el mundo.
- Capacidad de roaming mundial.
- Servicios de aplicaciones multimedia.
- Eficiente uso del espectro.
- Flexibilidad para evolución de siguientes tecnologías.
- Velocidad de datos.
  - 2Mbps entorno fijo, 384 kbps usuarios caminando.
  - 144 kbps usuarios usando un vehículo.

Básicamente la razón por la que se creó la tecnología (3G) fué dar incremento de portabilidad de los dispositivos terminales (Teléfono Móvil o Celular) y una mayor velocidad en la transmisión de datos.

- IMT-2000/3G: el nombre real de 3G, es IMT-2000 pero por motivos de marketing se le puso el nombre de 3G, esta tecnología puede ser descrita como la unión de tecnologías que cubren muchas bandas de frecuencias, anchos de banda de canal y formatos de modulación.
- IMT-2000/3G: se aplica para dispositivos móviles que soportan altas velocidades, ver figura 2.3.1.



**Figura 2.3.1: Estructura del Sistema IMT-2000 [9]**

Este cambio al nuevo sistema IMT-2000 no fue tan sencillo, debido a que las empresas tuvieron que hacer una fuerte inversión ya que los equipos de la nueva red tenían altos precios, para esto existió una solución que fue la transición de tecnología, es decir las redes que eran de primera y segunda generación iban cambiando de a poco dando paso a la tecnología 2.5G, la cual es una transición para llegar a 3G, la mayoría de las empresas optaron por esta opción, la tabla 4 muestra el desarrollo de las tecnologías.

TECNOLOGIA	SISTEMA	SERVICIOS	DETALLES
1G	AMPS,TACS,NMT	VOZ	TECNOLOGIA ANALOGICA
2G	GSM,TDMA,CDMA IS-95	VOZ Y SMS	TECNOLOGIA DIGITAL
2.5G	CDMA(IS-95),GPRS,EDGE	VOZ Y DATOS	NUEVO ESPECTRO
3G	CDMA2000/WCDMA, ULTRA TDD, TD-SCDMA	VOZ Y SERVICIOS MULTIMEDIA	SE DEFINE IMT-2000

**Tabla 4. Sistemas Tecnológicos de Telefonía Móvil [14]**

El desarrollo de las tecnologías dio el paso a que las empresas de telecomunicaciones puedan escoger la de mayor beneficio para el desarrollo de la empresa sabiendo que la mejor es la tecnología 3G por sus diferentes funciones.

### **2.3.1 Servicio Móvil Universal de Telecomunicaciones**

El servicio móvil universal de Telecomunicaciones (UMTS) apareció una vez que la ITU creó la nueva tecnología IMT-2000, una serie de tecnologías fueron propuestas para diversos estándares. Estas incluían CDMA, TDMA, TDD (División de tiempo duplex), FDD (División de frecuencia duplex).

Por parte de Europa, la ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones) añadió el estándar WCDMA (Acceso múltiple por división de código de banda ancha) que usa FDD, en Japón se aplicó el estándar WCDMA pero utilizando TDD y FDD en Norte América se añadió CDMA2000 que fue la evolución de IS-95 y por ultimo china agregó su estándar TD-SCDMA.

### **2.3.2 Migración hacia UMTS**

El acceso hacia una red UMTS es conocida como Acceso de Radio Terrestre Universal (UTRA). Esta es una solución que incluye los modelos FDD y TDD. El acceso hacia una red de radio se denomina Red de Acceso de Radio (RAN), esta técnica permite ingresar a una red de radio pero en estas redes es muy importante incluir al núcleo de cada red, el cual se encarga en llevar toda la información de la red, en la implementación de la tecnología UMTS se recurrió a la red GSM, básicamente era la misma red pero con pequeños cambios con la diferencia de que en esta nueva red el núcleo sea mejorado y procese mayores tasas de velocidades de datos y que soporte tecnologías antiguas.

Para implementar UMTS se utilizó la base de la tecnología GSM, debido a que el funcionamiento de GSM es muy óptimo, el cambio que se realizó fue en los equipos que podían trabajar a altas velocidades de transmisiones de datos, y también soportaban la portabilidad del usuario.

Esta migración dio paso a que la tecnología 3G poco a poco se vaya implementado a nivel mundial y en lo actuales momentos son las redes básicas en todo el mundo ya que esta misma dio espacio hacia la nueva tecnología como 4G.

### 2.3.3 Servicios UMTS

UMTS puede brindar muchos servicios y la máxima velocidad es de 2Mbps, no todos los servicios pueden ocupar esta velocidad eso dependerá del usuario y del servicio que se está utilizando. Se definen 4 clases de servicios los cuales son:

- **Conversación:** está caracterizado por baja tolerancia de retraso y la baja tolerancia de error. El requisito de la velocidad de datos puede ser alto o bajo, pero en general es simétrica. En otras palabras, la tasa de datos es la misma con la que el usuario se comunica con la estación base y con la que la estación base se comunica con el usuario. Para la realización de una llamada no se necesita grandes velocidades lo que se necesita es que la llamada no tenga retardo y tenga pocas probabilidades de errores. El video conferencia también es un servicio igual que la llamada de voz, pero esta requiere de una mayor velocidad de datos.
- **Interactividad:** este servicio está compuesto por las transacciones de solicitud /tipo respuestas. Este tráfico está caracterizado por la baja tolerancia para errores y la alta tolerancia de retardos comparado con el servicio de conversación. Los servicios de interactividad pueden requerir velocidades de datos bajas o altas en función de la solicitud del usuario, pero la velocidad de datos es generalmente alta y en una sola dirección.

- **Streaming:** este servicio utiliza bajas y altas velocidades de bits. Se caracteriza porque tiene una tolerancia de error baja, pero tienen una alta tolerancia a la demora, esto se debe a que la aplicación receptora puede trabajar con varios usuarios a la vez y se forma una cola de espera para poder atender el requerimiento de cada usuario, lo importante de estos streaming es que nunca se pierda la sesión con el receptor así este lento la transmisión.
- **Background:** este servicio se caracteriza porque no utiliza muchos recursos, se encarga en enviar los mensajes de errores cuando un mensaje de texto, correo electrónico no pudo ser entregado a su usuario de destino.

#### 2.3.4 CDMA2000

Es una plataforma inalámbrica que forma parte de la tecnología IMT-2000, la tecnología CDMA2000 está orientada hacia el transporte y tratamiento de servicios inalámbricos 3G que soportan aplicaciones multimedia. CDMA2000 al comienzo utilizó la plataforma de 2G con la tecnología PCS la cual tenía el mismo ancho de banda asignado para voz y datos, después CDMA2000 se fue actualizando hasta llegar a utilizar su propia tecnología EVDO(IS-856). Esta misma alcanzaba velocidades de 384 Kbps en su primera versión, luego salió EVDO (IS-856A) la cual tenía velocidades de hasta 2Mbps y en la actualidad está el EVDO (IS-856B) que alcanza velocidades hasta 5Mbps. La tecnología CDMA2000 es más rápida que la UMTS sin embargo no es utilizada en todo el mundo ya que por diferentes propiedades los operadores escogen también UMTS. Para poder aplicar la tecnología CDMA2000 se deben realizar cambios de hardware y software, la ventaja es que a nivel de software son compatibles con la tecnología CDMA2G, las operadoras que usaron este cambio utilizaron lo siguiente:

- Rentabilidad Económica basada en la infraestructura de la nueva red.

- Mayor capacidad y rendimiento para servicios de voz y datos.
- Sistemas o estándar de compatibilidad de tecnologías.
- Flexibilidad de la red para poder migrar a nuevas tecnologías.

En la fase 1 de la implementación de CDMA2000 se basa en la tecnología IS-95B, el enfoque de las redes que usan muchas portadoras no fue aceptada por CDMA2000 y se implementó usando una sola portadora, los beneficios de CDMA2000:

- Soporte del Canal 1.25 MHz.
- Tasas de paquetes de datos 144kbps.
- Doble de velocidad en servicio de voz.
- Doble Incremento en la espera de la llamada.
- Handoff mejorado.

#### 2.4 Tercera Generación (3G) en Ecuador

La tecnología 3G necesita un rango de espectro y un ancho de banda definido para poder ser utilizada en Ecuador, cada operadora móvil brinda este servicio y es por eso que tienen diferentes frecuencias asignadas. Las asignaciones de frecuencias están determinadas por la ITU, en el Ecuador las entidades del estado se encargan de verificar si se están cumpliendo estas asignaciones. Las asignaciones para Claro y Movistar para 3G se muestran en la tabla 5:

TECNOLOGÍA	CLARO	MOVISTAR
<b>2G O 3G (LAS DOS TECNOLOGIAS FUNCIONAN)</b>	824 a 835 MHz, 845 a 846.5 MHz, 869 a 880 MHz, 890 a 891.5 MHz.	835 a 845 MHz, 846.5 a 849 MHz, 880 a 890 MHz, 891.5 a 894 MHz.
<b>3G WCDMA</b>	1900 MHz	1900 MHz

**Tabla 5. Frecuencias que utiliza la Tecnología 3G**

## **2.5 Acceso Dinámico al Espectro (DSA)**

### **2.5.1 Definición de DSA**

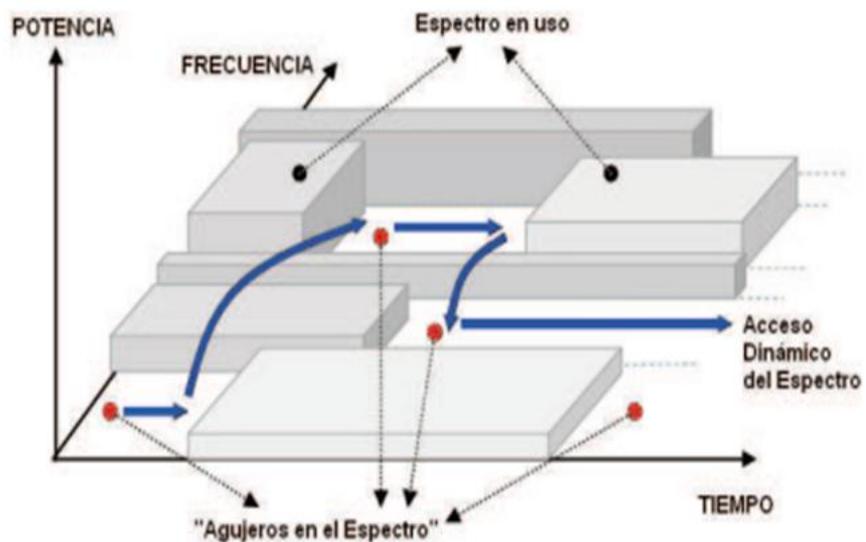
En lo que a funciones de análisis de espectro y decisión sobre el mismo se refiere, el Acceso Dinámico al Espectro (DSA) es un concepto generalizado que describe un compendio de técnicas utilizadas para el acceso al espectro radioeléctrico precautelando el cumplimiento de varias condiciones dependientes del mismo, tales como, la banda de frecuencia, la arquitectura de la red, y otros requerimientos. [15]

### **2.5.2 Objetivo de DSA**

El objetivo principal de DSA es acceder a las mejores bandas del espectro radioeléctrico disponibles, a través de sus capacidades cognitivas. Dado que la mayoría del espectro ya está asignado, el reto más importante es compartir este espectro con los usuarios primarios o licenciados sin interferirlos, tal como se ilustra en la figura 2.5.2.1, en donde se muestra el uso temporal del espectro en los *white holes* (Espacios en blanco del espectro que se encuentran inutilizados). [16]

Si esta banda va a ser utilizada por un usuario primario, la RC se mueve al otro “agujero del espectro”, o se queda en la misma banda, pero alterando su nivel de potencia de transmisión o esquema de modulación para así evitar interferencias.

Sin importar el modelo de regulación y el método utilizado, la flexibilidad y la eficiencia deben reflejarse en el acceso al espectro, ya que la apropiada compartición de este recurso juega un papel importante para aumentar la utilización y aprovechamiento del mismo. [17]



**Figura 2.5.2.1: Acceso Dinámico al Espectro [16]**

### 2.5.3 Tipos de Acceso Dinámico al Espectro

Dependiendo de las bandas de frecuencias a utilizar, se pueden distinguir dos modelos de acceso dinámico al espectro: modelo de acceso libre y modelo de acceso jerárquico. El primero de estos modelos se refiere al uso del espectro en las bandas de acceso libre, tales como la banda de uso Industrial, Científico y Médico (ICM).

Todos los usuarios de telecomunicaciones tienen el mismo derecho a hacer uso de las bandas ICM, debido a que es un derecho estatal en cada país y por lo tanto no requieren adquirir licencia alguna para utilizar estos servicios, siempre y cuando las regulaciones vigentes sean respetadas. Dichas regulaciones implican las frecuencias de las portadoras, las potencias máximas y los límites del recurso espectral.

Algunas de las aplicaciones más conocidas que utilizan la banda ICM son WiFi (802.11) y Bluetooth. [18] Existen varios enfoques posibles para tener una gestión del espectro más adaptativa, tal como se muestra en la figura 2.5.3.1.



**Figura 2.5.3.1: Tipos de Acceso Dinámico al Espectro [18]**

#### **2.5.4 Licencias Dinámicas (Uso Exclusivo del Espectro)**

Es un tipo de asignación dinámica del espectro que provee un uso exclusivo a una tecnología o red de comunicaciones que tendrán el mayor beneficio del uso del espectro. Es similar a la asignación actual, en donde se atribuyen las bandas y sub bandas de frecuencias mediante concesión para cierto tipo de servicios y tecnologías de una manera exclusiva. Sin embargo, estas licencias dinámicas son mucho más flexibles, ya que pueden introducir nuevos sistemas que se adapten a la dinámica de las comunicaciones inalámbricas, pero no serán el ámbito específico en el cual opere la Radio Cognitiva. [19]

#### **2.5.5 Compartición Dinámica del Espectro (Coexistencia)**

Los terminales de Radio Cognitiva tendrán que compartir el espectro bien sea con sistemas de radio sin licencia de limitadas capacidades de coexistencia que les permita operar a pesar de la presencia de algunas interferencias, o con sistemas de radio con licencia (con frecuencias concesionadas) que están autorizados para ocupar aquella(s) sub banda(s) del espectro radioeléctrico. La compartición del

espectro radioeléctrico con sistemas de radio primarios se conoce como compartición vertical, como se indica en la Figura 2.5.5.1, y la compartición entre sistemas de radio de características iguales (con la misma condición regulatoria), como los sistemas y/o usuarios que operan en bandas sin licencia y que tienen un sistema de control centralizado o distribuido para las mismas técnicas de acceso de compartición del espectro, se lo conoce como compartición horizontal. [19]

La compartición vertical del espectro en teoría promete tener la ventaja de no exigir un proceso de autorización largo o costoso, ni una reasignación exclusiva de espectro, y puede realizarse de varias maneras. Se utiliza un tono de ocupado a una frecuencia prevista para enviar una señal de permiso o prohibición de ocupación del espectro por parte de un usuario secundario.

En la comparación horizontal, los terminales de Radio Cognitiva identifican de manera autónoma las oportunidades y coordinan su uso con otras Radios Cognitivas de manera distribuida. [19]

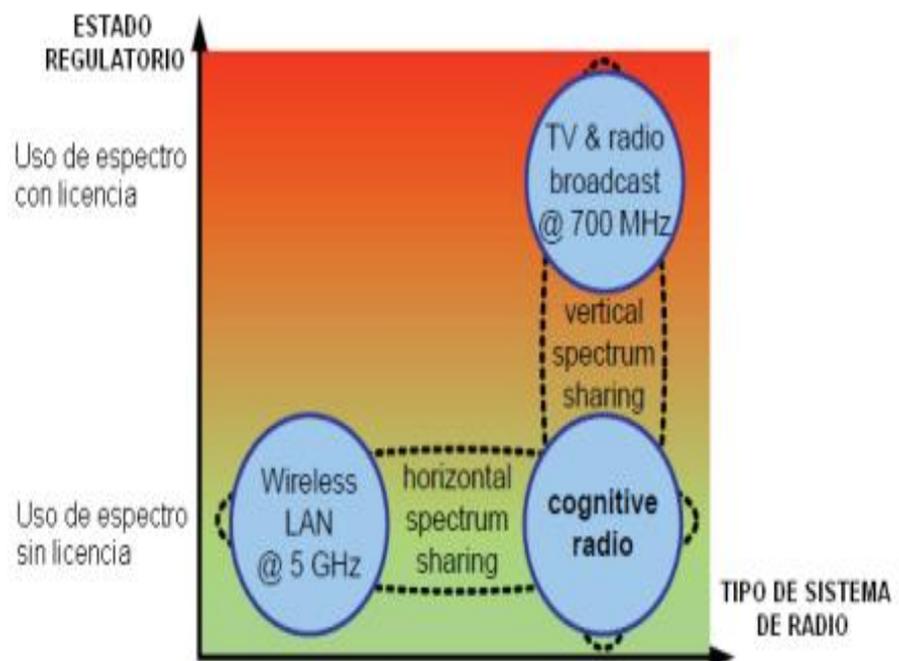


Figura 2.5.5.1: Compartición horizontal y vertical de Espectro [19]

### **2.5.6 Usuarios primarios y Secundarios**

La facultad principal de esta tecnología es ocupar las sub bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico que son infrautilizadas por parte de los denominados usuarios primarios mediante un acceso dinámico al espectro (DSA), es decir, que no son ocupadas y se encuentran libres durante ciertos instantes de tiempo. El objetivo del Acceso Dinámico al Espectro corresponde a que los usuarios no licenciados o secundarios obtengan una disponibilidad efectiva de estas bandas o sub bandas de frecuencias, evitando interferencias con los usuarios primarios. Es por ello que se debe tener en claro el concepto y rol de los denominados usuarios primarios y secundarios. [20]

En la gran mayoría de países, incluyendo Ecuador, para el ámbito de las telecomunicaciones, se puede afirmar que los usuarios primarios (PU) son los que obtienen un título habilitante y operan legalmente en una o varias frecuencias mediante la concesión de uso del espectro radioeléctrico, que para el caso del Ecuador, se lo realiza siguiendo la normativa respectiva establecida en el Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones Reformada. En otras palabras, los usuarios primarios son los que solicitan, obtienen, utilizan y pagan por el recurso del espectro radioeléctrico. [21]

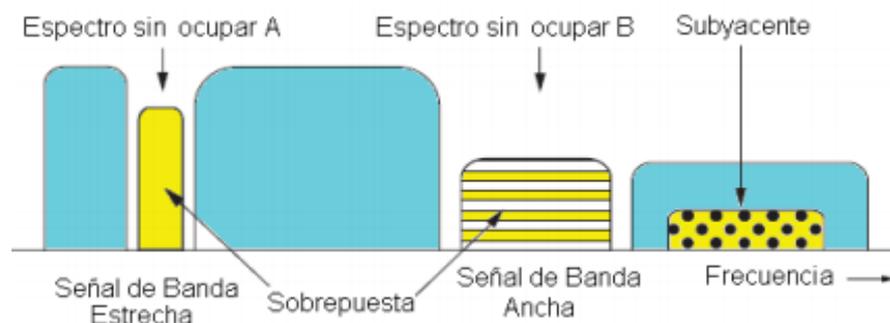
Por otro lado, el termino de usuario secundario (SU), es referido a los usuarios que ocupan o van a ocupar las frecuencias que los usuarios primarios no están utilizando en un determinado instante y duración de tiempo, lo cual va a variar según la localización geográfica y aplicación de sistemas de radiocomunicaciones principalmente. Se puede afirmar entonces que los usuarios de Radio Cognitiva van a ser secundarios, ya que van a ocupar los denominados agujeros en el espectro, o las frecuencias desocupadas o infrautilizadas por los primarios. De esta manera se aprovecha de manera más eficiente el espectro radioeléctrico para favorecer el establecimiento de nuevos sistemas y redes en diversas aplicaciones. [22]

Un aspecto importante consiste en que al momento que un usuario primario requiera utilizar la banda de frecuencias que tiene autorizada pero que está siendo utilizada por un usuario secundario, lo podrá hacer, ya que la radio Cognitiva se encuentra censando el espectro y será capaz de determinar esta situación y buscar otras frecuencias libres para operar. Se debe garantizar que los usuarios secundarios no interfieran con las señales y/o comunicaciones de los primarios, en virtud de que estos tienen licenciadas o autorizadas dichas frecuencias, por lo que tienen el privilegio para la utilización de las mismas en cualquier momento. [23]

### **2.5.7 Compartición Underlay y Overlay del Espectro**

En la compartición del espectro, los SU son capaces de identificar porciones disponibles del espectro, comúnmente denominadas «agujeros espectrales» o *white holes*, que utilizan para sus propias transmisiones sin interferir a los usuarios autorizados o PU. [24] La estrategia de acceso dinámico al espectro Underlay, también denominada acceso concurrente al espectro [25], impone severas restricciones en la potencia de transmisión de los SU de modo que al operar de forma continua con los PU, el valor de interferencia medido en los receptores este por debajo de un umbral preestablecido. [24] Para la operación concurrente con los PU, los usuarios secundarios deben ser capaces de estimar el nivel de interferencia existente en los receptores. Mientras tanto, para la compartición overlay los SU utilizan parte de sus recursos para asistir las comunicaciones de los PU. Según este modelo, es indispensable que los SU posean información de los esquemas de codificación usados por los PU, esta información se la puede obtener siempre que los PU utilicen un estándar de comunicación basado en códigos públicos. [26] Estos casos se presentan en un ambiente de comparación vertical, donde no se desea interferir en las comunicaciones de usuarios primarios. El acceso a la mayor parte del espectro radioeléctrico, se realiza cuando los terminales de radio operan con potencias de transmisión mínimas o

con un nivel subyacente o inferior a un umbral específico, dentro de un rango de frecuencias específicas [27], tal como se muestra en la figura 2.5.7.1. En la compartición subyacente se realiza un uso no coordinado y simultáneo del espectro en el dominio del tiempo y de la frecuencia, de tal manera que las técnicas para difundir la señal deseada, sean sobre una amplia banda de frecuencias, de manera que la potencia de transmisión de la señal del usuario secundario sea vista por el dispositivo con licencia con un valor inferior al umbral de tolerancia de interferencias. Es entonces que la potencia de transmisión está estrictamente limitada para evitar interferencias. [28]



**Figura 2.5.7.1: Compartición subyacente y superposición del Espectro [27]**

El acceso oportunista del espectro no utilizado en bandas de frecuencia donde se puede o no tener usuarios primarios, se conoce como una compartición superpuesta del espectro. La Radio Cognitiva utilizará técnicas flexibles de acceso al espectro para la identificación de aquellas sub bandas no utilizadas o sub utilizadas para una ocupación oportunista del mismo, evitando interferencias perjudiciales a otros dispositivos al utilizar las mismas bandas de frecuencias. [29]

Este tipo de acceso oportunista o dinámico requiere protocolos y algoritmos para la compartición con otros usuarios, y adicionalmente, la regulación del espectro radioeléctrico podría verse afectada.

Hay que tener en cuenta que los usuarios secundarios podrían no interferir a los primarios al momento de la elección dinámica de una

frecuencia, tal como se da con los usuarios no licenciados de comunicaciones inalámbricas en la banda de 2.4 GHz, que comparten el espectro con los usuarios atribuidos a servicios fijo móviles, radiolocalización u otros, tal como lo define el actual Plan Nacional de Frecuencias en el Ecuador. [30]

Idealmente, la compartición debe realizarse en corto tiempo para que los dispositivos puedan adaptarse rápidamente a la dinámica o cambios de las comunicaciones inalámbricas que puede ser causada por las variaciones del canal o por las demandas de aplicaciones. Para utilizar el espectro de manera oportunista, los radios Cognitivos adaptan sus esquemas de transmisión para que se ajusten a los patrones de uso del mismo, en otras palabras, en base a la experiencia se puede predecir patrones de uso de una sub banda del espectro (determinando los intervalos de actividad y/o inactividad), que deben ser identificadas de manera fiable, así como también la detección en curso, requiriendo una coordinación especialmente en entornos distribuidos. [31]

Una oportunidad de espectro se define por el lugar, tiempo, frecuencia y potencia de transmisión, cuya identificación depende de la previsibilidad y la naturaleza de su uso. Por lo tanto, un ambiente de uso menos frecuente y previsible del espectro radioeléctrico, puede considerarse como ideal para el desempeño de Radio Cognitiva. [32]

## **2.6 Acceso Oportunista al Espectro (OSA)**

### **2.6.1 Definición de OSA**

El Acceso Oportunista al Espectro constituye uno de los enfoques del Acceso Dinámico al Espectro y es un conjunto de técnicas que buscan minimizar los problemas de escasez e ineficiencia de uso del espectro radioeléctrico, ocasionados por los actuales procedimientos de asignación y administración de tal recurso. [33]

### **2.6.2 Objetivo del sistema OSA**

El objetivo principal de un sistema OSA es mitigar el problema de escasez e ineficiencia en el uso del recurso espectral causado por los procedimientos actuales de administración y asignación de este recurso. Siguiendo un esquema jerárquico, bajo las nociones de OSA los SU pueden acceder y explotar las porciones espectrales no utilizadas por los PU en determinados instantes de tiempo o lugar geográfico. Estos últimos usuarios poseen los derechos de propiedad para el exclusivo uso de rangos espectrales en específico. Las bandas espectrales no utilizadas se denominan espacios en blanco, que una vez que se conjuntan conforman una disponibilidad local e instantánea del recurso radioeléctrico para los usuarios secundarios. [34]

### **2.6.3 Características del sistema OSA**

OSA es un sistema con un nuevo enfoque de gestión del espectro muy prometedor, que permitirá el uso de frecuencias alternativas licenciadas, dirigidas a nuevos usuarios oportunistas para cada banda del espectro, con el fin de evitar la saturación de las bandas de frecuencia ya establecidas, y disminuyendo así potencialmente los costos de licencias del espectro para ambas clases de usuarios [35].

Por citar un ejemplo, las bandas de frecuencia asignadas para radio se han mantenido estáticas durante casi un siglo, el sistema OSA plantea encontrar un nuevo espacio del espectro sin asignar, para poder transmitir sistemas de radio, generalmente se apunta hacia las frecuencias más altas, por ejemplo 60GHz, sin embargo existen también frecuencias ya asignadas que no se utilizan o se utilizan de manera esporádica, por lo tanto es lógico que los usuarios oportunistas puedan hacer uso de estas frecuencias mientras se encuentran libres, este enfoque plantea la reutilización del espectro de manera más óptima para poder incrementar el uso y el rendimiento de las aplicaciones que se utilizan hoy en día. Esta técnica de comunicación es lo que se denomina OSA. [36]

## 2.7 Radio Cognitiva (RC)

### 2.7.1 Definición de Radio Cognitiva

Con el fin de compartir el espectro con los PU sin interferirlos, y adicionalmente, cumplir con los diversos requisitos de calidad de servicio, cada usuario en una red de radiocomunicaciones con Radio Cognitiva, debe cumplir básicamente lo siguiente:

- Determinar la porción del espectro que se encuentra disponible, lo que se conoce con el nombre de detección del espectro (Spectrum sensing)
- Seleccionar el mejor canal disponible, lo que se conoce como Decisión de espectro (Spectrum decision)
- Coordinar el acceso a este canal con otros usuarios, lo que se conoce como compartición del espectro (Spectrum sharing)
- Desalojo del canal cuando se detecta a un usuario primario, lo que se conoce como movilidad del espectro (Spectrum mobility)

Teniendo en cuenta las funciones que debe cumplir y los antecedentes presentados [37], el término Radio Cognitiva se puede definir de la siguiente manera:

Radio Cognitiva es un sistema inteligente de comunicación inalámbrica que es consciente del mundo exterior (es decir, del entorno en que opera), y utiliza una metodología de entendimiento para aprender del medio ambiente y así adaptar sus estados internos, haciendo los correspondientes cambios en determinados parámetros de funcionamiento (por ejemplo, potencia de transmisión, frecuencia de portadora, modulación) en tiempo real, con el fin de cumplir dos objetivos principales: tener una comunicación altamente confiable cuando y donde sea necesario, y la utilización eficiente del espectro radioeléctrico. [38]

En otras palabras, una Radio Cognitiva es una radio inteligente que puede adaptar su comportamiento de una manera que va mucho más lejos que otras tecnologías adaptativas, ya que se aplica a una gama más amplia de parámetros de funcionamiento, como por ejemplo la frecuencia de operación, potencia de transmisión, esquema de modulación, patrón de radiación de la antena, consumo de batería, uso del procesador, etc., lo que puede realizarse de una manera planificada como no planificada, a través del reconocimiento de los distintos patrones de comportamiento del dispositivo de radio, aprendizaje de las situaciones recurrentes y de experiencias pasadas, y, usando mecanismos para anticipar futuros eventos. [37]

### **2.7.2 Origen de SDR como plataforma para manejar RC**

Antes del desarrollo de la RC, las Radios Definidas por Software (SDR) surgieron como dispositivos de comunicaciones que ofrecían soluciones de interoperabilidad, conectividad, plataforma multiestandar, entre otros, por medio de su principal característica que es reconfigurar sus parámetros de operación mediante software. Por tanto, se hablará de la estructura y funcionamiento de SDR como dispositivo de radio y plataforma de Radio Cognitiva. El tema de reconfigurabilidad e inteligencia en la capa física está siendo cubierto por medio de dos tecnologías complementarias: SDR y CR. Las definiciones de estas dos tecnologías son sencillas, pero sus atributos técnicos e incluso sus atributos comerciales son muy variados y complejos. La definición de *Software Radio* fue impulsada por Mitola Joseph III en el año 1991 para referirse a un tipo de radio reprogramable o reconfigurable. [44]

En otras palabras, SDR es un radio cuya funcionalidad está sustancialmente definida por software y cuyo comportamiento puede ser sustancialmente modificado por medio de los cambios en dicho software. Esto claramente constituye una ventaja muy importante y una razón de vigor para que se comience a pensar en hacer de los SDR

una nueva tecnología con diversas funcionalidades y con la gran ventaja de ser comercialmente viable. [45]

### 2.7.3 Introducción a SDR (Software Defined Radio)

SDR puede definirse preliminarmente como un dispositivo de radio cuyas características o propiedades de frecuencia portadora, modulación y acceso a una red están definidas por software. Incluso modernos SDRs implementan funciones más avanzadas de encriptación y codificación de datos. [41]

En la figura 2.7.3.1 se puede observar la evolución de los primeros radios con componentes de software, cuando en el Laboratorio de Investigación de la Fuerza Aérea de USA se desarrolló un modem programable que poseía una arquitectura de identificación, navegación y comunicaciones integradas, hasta llegar al Speakeasy-II y DMR, que tenía una arquitectura que les permite portar el software en una plataforma de hardware arbitraria, y a su vez logrando que el hardware evolucione tecnológicamente y mejore su arquitectura independientemente del software a implementarse. [24]

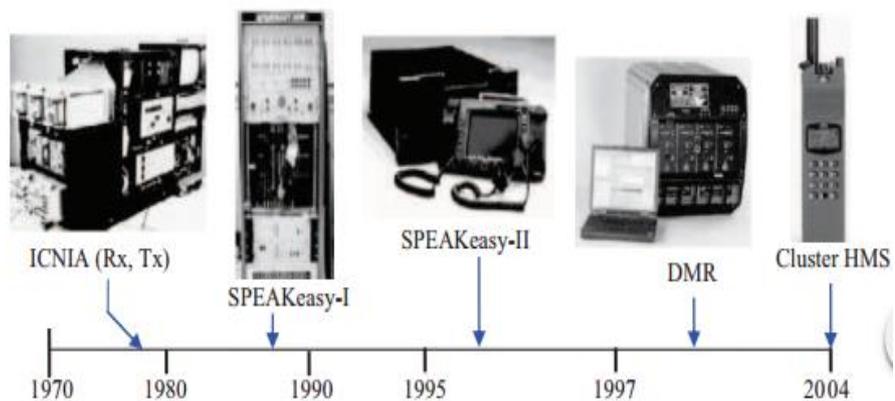


Figura 2.7.3.1: Imágenes del ICNIA, Speakeasy II y DMR [24]

#### **2.7.4 Definición y aspectos fundamentales de un SDR**

Los desarrollos en radios inteligentes y adaptivas se han enmarcado a lo que hoy es un Radio Definido por software, el cual es definido, según el Wireless Innovation Forum (Foro de Innovación Inalámbrica), de la siguiente manera: Radio que provee un control por medio de software de las técnicas de modulación, operación del ancho de banda, funciones de seguridad de la comunicación, los requerimientos de la transmisión y de las normas regulatorias por las mismas. [42]

Al ser un dispositivo cuyas funcionalidades son controladas por software, un SDR tiene relevancia para el concepto de Radio Cognitiva, ya que este tipo de control permite una rápida adaptación a las operaciones de radio, provee un mecanismo lógico en donde se pueda implementar los algoritmos y procesos necesarios para el entendimiento del entorno, y pueda realizar un cambio en su operación para alcanzar un determinado objetivo en base a una necesidad del dispositivo o de la red de radiocomunicaciones. Esto corresponde a determinar la forma apropiada y características de la señal electromagnética para la transmisión de radio, definidos por los algoritmos de capa física. [42]

#### **2.7.5 Características técnicas de los SDRs**

Debido a que los SDRs y por ende los CRs, pueden ser configurados a sí mismos de forma autónoma para cualquier tipo de transmisión, organismos reguladores del espectro electromagnético necesitan algún mecanismo para garantizar que estos dispositivos tengan un impacto limitado sobre los sistemas autorizados o primarios. Es por ello que los entes reguladores internacionales se encuentran estableciendo normas o reglas dentro de la fabricación de SDRs, configuración y uso de los dispositivos, por lo cual, dentro de su desempeño puede haber limitaciones o requerimientos regulatorios de carácter técnico, como niveles mínimos y máximos de potencia de transmisión, bandas de frecuencia a utilizar en determinados lugares geográficos, entre otros,

todos ellos deben ser tomados en cuenta entre los requerimientos de transmisión para la configuración de los mismos. [43]

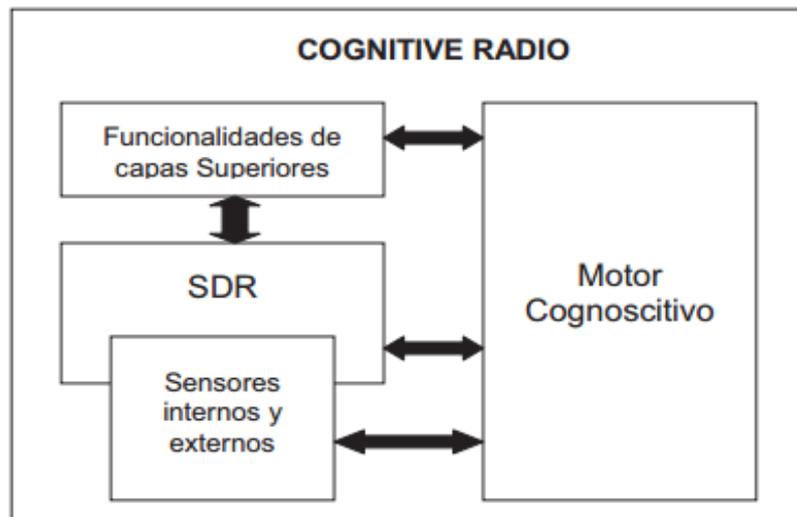
#### **2.7.6 Funcionamiento de SDRs en sistemas de RC**

Los SDRs representan una plataforma de radio muy flexible y genérica, que son capaces de operar con diferentes anchos de banda, en un amplio rango de frecuencias y con distintos formatos de modulación y forma de onda.

Como resultado, un SDR puede trabajar con múltiples estándares tales como, GSM, 3G, EDGE, LTE, WIFI, CDMA, WiMax, etc. Por lo tanto, la RC tiene que ser diseñada en base a un SDR, el cual es el núcleo que permite la tecnología para la RC. De hecho, una de las definiciones más difundidas de RC afirma lo siguiente, una RC es un SDR que es consciente de su entorno, del estado interno, ubicación, y que ajusta automáticamente sus operaciones para alcanzar los objetivos designados. [42]

Un modelo básico de desempeño de un SDR dentro de un sistema de RC es el que se muestra en la figura 2.7.6.1, en el cual el motor Cognoscitivo envía los parámetros de configuración hacia la sección reconfigurable de SDR para que pueda volver a configurar la radio de acuerdo a ciertos parámetros, tales como, ancho de banda, frecuencia portadora, especificaciones de potencia.

El SDR se configura a si mismo junto con los componentes de software y el sistema de antena conectado, y con el fin de optimizar el rendimiento de estas unidades, esta radio digital reconfigurable utiliza información de retroalimentación por parte del motor mediante software para ajustar los parámetros y realizar la configuración especificada. [42]



**Figura 2.7.6.1: Funcionamiento de un Radio Cognitivo [42]**

Por lo tanto, SDR es una tecnología prometedora que introduce capacidades de reconfiguración a Radio Cognitiva, referido a un sistema dinámico de gestión de frecuencias de radio, que puede incluir la detección o censo del espectro, el mecanismo de optimización para utilizar una parte específica del espectro, entre otros. Los sensores o dispositivos que hacen posible la detección del espectro pueden estar embebidos internamente en un SDR o externamente incorporados. [42]

### **2.7.7 Capacidades de la Radio Cognitiva**

Con respecto a la operación de RC, existen 4 entradas generales que son definidas dentro de este equipo, las cuales son: el conocimiento del medio ambiente en el que opera, conocimiento de las necesidades de comunicación del usuario(s), conocimiento de las políticas de regulación que son aplicables y el conocimiento de sus propias capacidades. El dispositivo procesa esta información y toma decisiones autónomas sobre como configurarse a sí mismo para las tareas y necesidades de comunicación, y al hacerlo gracias a sus componentes de hardware y software, al mismo tiempo es consciente de cualquier conflicto o limitación (física, regulatoria, etc.) que pudiera existir. Las capacidades de las radios cognitivas, como nodos o terminales de una red, se pueden clasificar de acuerdo a estas

funciones: Una RC deberá "censar" su ambiente de operación (Capacidad Cognoscitiva), adaptarse al medio ambiente (Capacidad Reconfigurable) y analizar y aprender la información detectada (Capacidad de Auto Organización). [44]

### 2.7.8 Capacidades Cognoscitivas

Se puede resumir las capacidades cognoscitivas dentro de las siguientes:

- **Detección del espectro:** Una RC puede censar y detectar los referidos *agujeros en blanco*, los mismos que son los grupos de frecuencias que no son usadas por los PU y que tengan interferencia limitada con ellos. Inclusive, se puede incorporar un mecanismo para compartir el espectro bajo los términos de acuerdo entre un PU y un SU, aunque en redes cognoscitivas las partes pueden negociar en tiempo real sin necesidad de un acuerdo previo. [45]
- **Identificación de la ubicación:** es la capacidad que posee la RC para determinar su ubicación y la ubicación relativa con respecto a otros transmisores, y luego seleccionar los parámetros de funcionamiento adecuados, tales como, la potencia y la frecuencia permitidas en esa zona, en razón que la detección del espectro por sí solo no sería capaz de identificar las ubicaciones cercanas de estos receptores. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta capacidad se basara en información relativa y no será un sistema de localización fija. [45]
- **Descubrimiento del sistema/red:** para que un terminal de RC determine la mejor manera de comunicarse, deberá descubrir las redes disponibles alrededor de ella para disponer de varios servicios que estas prestan. Estas redes pueden ser accesibles a través de un salto directo de comunicación dirigido, o por varios a través de terminales o nodos. [45]

- **Descubrimiento de Servicios:** esta capacidad suele acompañar a la anterior. Las redes u operadores de sistema ofrecen sus servicios a través de sus redes de acceso. Un terminal de RC puede encontrar servicios apropiados para satisfacer sus demandas. [45]

### 2.7.9 Capacidades Reconfigurables

Una radio cognitiva debe tener ciertas facultades para poder configurarse a sí misma en base a sus necesidades, dentro de las cuales se tiene:

- **Agilidad de Frecuencia:** se trata de la capacidad de una radio para cambiar su frecuencia de funcionamiento. Esta capacidad en general se combina con un método para seleccionar dinámicamente la frecuencia de funcionamiento apropiado basado en la detección de señales de otros transmisores, o en base a otra información. [46]
- **Selección dinámica de frecuencias:** Es un mecanismo que dinámicamente detecta las señales de otros sistemas de radiofrecuencia y evita una interferencia de tipo cocanal con estos. El método en que un dispositivo puede usar para decidir cuándo cambiar la frecuencia o la polarización, podría incluir el censo del espectro, identificación de la ubicación, o una instrucción de una red u otro dispositivo. [46]
- **Modulación/Codificación Adaptable (MCA):** Se enfoca en las capacidades del canal de comunicación al momento de presentarse desvanecimiento, o rápidas fluctuaciones de la potencia de la señal recibida, en periodos de tiempo pequeños o pequeñas longitudes de desplazamiento, causadas por cambios en el medio de transmisión (fading). Una MCA tiene la capacidad de variar las características de transmisión para proporcionar mejores oportunidades de acceso al espectro y una utilización más intensiva del mismo mientras existan otras señales alrededor. [46]

- **Control de potencia de transmisión (CPT):** Esta es una característica que posibilita a un dispositivo cambiar dinámicamente los niveles de potencia de transmisión (dentro de un rango) durante el proceso de transmisión de la información. Con ello, se realiza la transmisión en los límites necesarios, reduciendo la potencia del transmisor a un nivel inferior para permitir una mayor compartición del espectro, cuando una potencia alta de operación no es necesaria (evitando interferencias). [46]
- **Acceso dinámico al sistema/red:** Para que una terminal de Radio Cognitiva acceda a múltiples sistemas o redes de comunicación que ejecutan diferentes protocolos, la habilidad de reconfigurarse a sí mismo para ser compatible con estos sistemas es necesario. Por tanto, es útil la coexistencia de múltiples entornos de radio presentes para aprovechar plenamente las redes inalámbricas heterogéneas. [46]

#### 2.7.10 Capacidades de Auto Organización

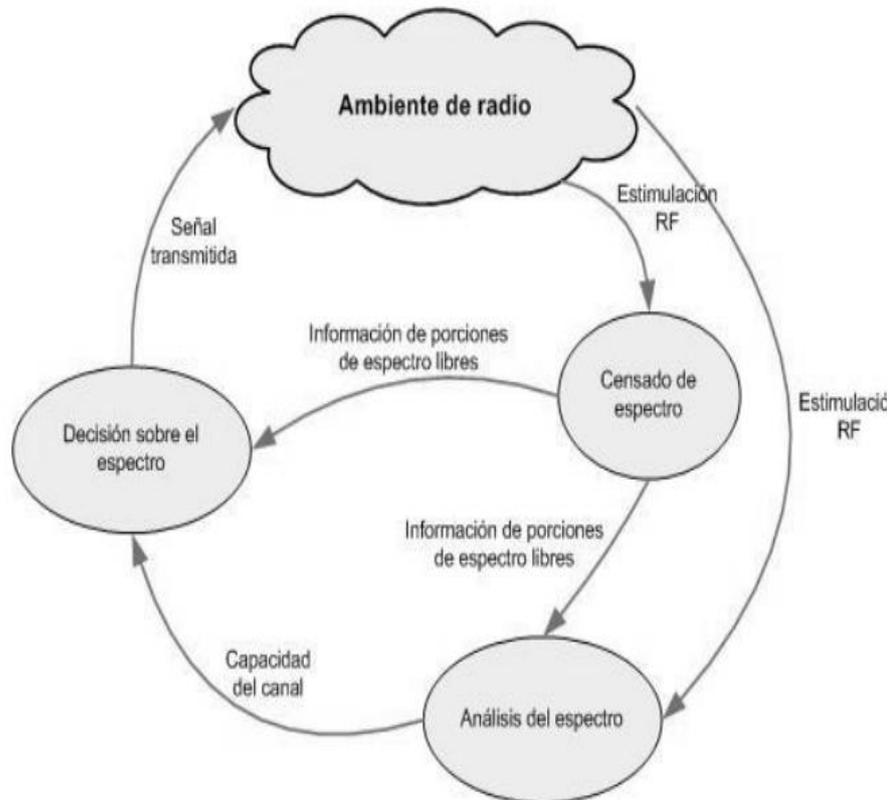
Ya con las capacidades de detección del espectro y de reconfiguración, una terminal cognitiva, con más inteligencia, puede ser capaz de auto-organizar su operación en base a la información obtenida por sí misma. Dentro de estas capacidades, se tienen las siguientes:

- **Gestión de los recursos de radio/espectro:** Un buen sistema de gestión del espectro es necesario para administrar y organizar de manera eficiente la información de los “espacios en blanco” del espectro radioeléctrico. [47]
- **Gestión de la movilidad y conexión:** Debido a la heterogeneidad de las redes de Radio Cognitiva (CRN), la información de la topología y del enrutamiento es cada vez más compleja. Una buena movilidad y gestión de la conexión puede ayudar a descubrir a usuarios cercanos, detectar acceso disponible a otras redes y facilitar “handoffs” verticales que permitan a la RC seleccionar las redes y la ruta apropiada. [47].

- **Gestión de seguridad:** Las redes de Radio Cognitiva (CRNs) son redes heterogéneas en esencia, y por ende, las diversas heterogeneidades (como por ejemplo, las tecnologías inalámbricas de acceso, operadores del sistema/red) introducen algunas cuestiones de seguridad. La integridad de la comunicación es entonces un requisito previo para asegurar las operaciones de una CRN, para apoyar las funciones de seguridad en entornos dinámicos. [47]
- **Networking:** es la habilidad para comunicarse entre múltiples nodos y así facilitar una combinación de detección y control de los mismos. Esta interacción puede ser útil para una adaptación, donde un grupo de dispositivos puede determinar un uso óptimo de los recursos del espectro, en lugar de hacerlos por sí mismos. [47]

### 2.7.11 El Ciclo Cognitivo

Como referencia de como una RC podría alcanzar las capacidades antes mencionadas, surge el denominado ciclo cognitivo, que se muestra en la figura 2.7.11.1, este ciclo implementa las capacidades necesarias de RC en una secuencia en donde el dispositivo continuamente observa el mundo exterior en el que opera para orientarse, crear planes, decidir y luego actuar. [48]



**Figura 2.7.11.1: El ciclo Cognitivo [24]**

Tal como se muestra en la figura, el ciclo cognitivo se divide en tres etapas, el **análisis del espectro** que es la revisión de la información recibida por parte del **censado del espectro**, considerando diversos factores como atenuación, interferencia, retardos, tasas de error y variabilidad en la disponibilidad del espectro para llegar a una final etapa, la **toma de decisiones**, que consiste en aplicar un algoritmo para permitir asignar espectro a los usuarios que así lo requieran (solicitud de acceso). [24]

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DESCRIPCION DEL ESCENARIO DE ESTUDIO**

En capítulos anteriores se mencionó el problema que existe en la actualidad con respecto a la falta de espectro en el Ecuador, los antecedentes tanto de OSA y de tecnología 3G, la forma de obtener los datos y una vez obtenidos poder analizarlos para el estudio, y por último se dio a conocer una posible solución. Tomando en cuenta todos estos datos se detallará a continuación el escenario en el cual se va a realizar este estudio.

El escenario para este estudio es la ciudad de Guayaquil, la cual fue escogida por motivos de ser una de las ciudades con mayor población del Ecuador y por ende con la mayor cantidad de clientes de telefonía móvil en todas las operadoras, en base a estos conocimientos, se escogió un edificio de 11 pisos en una zona muy poblada de la ciudad, específicamente en el norte de la ciudad, en la Avenida Francisco de Orellana (Edificio del SRI).

El análisis se basa en los niveles de potencia de la tecnología 3G, es decir que los datos medidos y obtenidos se compararán con el nivel de potencia mínimo que acepta la tecnología 3G, y se verificará si el espectro está libre u ocupado, dado el caso de que se escoge un edificio con bastante afluencia de usuarios, los resultados de los datos obtenidos entregarán una muy buena solución a este problema, ya que los rangos de mediciones son extremos con respecto al tráfico y el uso del espectro analizado.

Una vez comparados los datos obtenidos, se dará la mejor solución orientada al problema, comparándolo con un modelo estadístico conocido y así se podrá deducir de la manera más óptima si existe espacio libre en el rango de espectro analizado.

#### **3.1 Metodología**

En este capítulo se va a detallar lo que se hizo para poder realizar el análisis de la problemática. El estudio se dividió en tres etapas principales, las cuales son:

Etapas del Proyecto	Equipo	Detalles
<b>Etapa 1 (Adquisición de datos)</b>	Antena	Es la primera etapa donde se capturan los datos por medio de la antena SIRIO SD 2000U.
<b>Etapa 2 (Procesamiento de Datos)</b>	USRP	Mediante este equipo los datos obtenidos se los procesan y se los guarda en un archivo de formato Excel en la PC.
<b>Etapa 3 (Análisis de datos)</b>	PC	Se analizan los datos capturados para aproximarlos a un modelo estadístico.

**Tabla 6. Etapas Principales del Proyecto**

Para la adquisición de datos se tuvo que escoger una antena de buena calidad para que no existan pérdidas considerables y así los datos no sean erróneos, esta antena brinda las siguientes características (ver figura 3.1.1):

- La frecuencia de trabajo es de 100-2000 MHz.
- Es omnidireccional.
- Polarización vertical.
- Ganancia 1.3 dBd, 3.45 dBi
- Impedancia 50 Ohmios.
- Pocas pérdidas por conectores.



**Figura 3.1.1: Antena SIRIO SD-2000 (Ver Anexos)**

Con esta antena se obtienen los datos que representan a la potencia que se encuentra en los rangos de frecuencias que se mencionó en los capítulos anteriores, estos datos son procesados por la USRP que hace la función de guardar los datos obtenidos por la antena y procesarlos bajo la plataforma LabView.

En la segunda etapa se trabaja con la USRP, la cual utiliza como interfaz gráfica el software LabView, la USRP tiene una tarjeta interna que censa los datos de potencia de las frecuencias seleccionadas, que son las siguientes:

**1865-1870 MHz:** Este rango de frecuencias pertenece a la operadora MOVISTAR, la cual brinda el servicio de tecnología 3G en este intervalo, lo que se va a medir en este rango de frecuencias son los niveles de potencia en los cuales trabaja normalmente dicha tecnología.

Para poder medir los niveles de potencia en este rango se calculó la frecuencia central, lo cual resultó 1867.5 MHz.

Este valor de frecuencia central será de mucha importancia, ya que la aplicación LabView lo requiere para realizar un barrido de frecuencias con un ancho de banda de 5 MHz que es la medida del rango que se va a analizar, en otras palabras LabView necesita la frecuencia central y hacer un barrido de 5 MHz para obtener el valor de la potencia que se encuentra en ese rango para ese determinado tiempo.

**1885-1890 MHz:** Este rango de frecuencias pertenece a la operadora CLARO, la cual brinda el servicio de tecnología 3G en este intervalo, lo que se va a medir en este rango de frecuencias son los niveles de potencia en los cuales trabaja normalmente dicha tecnología.

Para poder medir los niveles de potencia en este rango se calculó la frecuencia central, lo cual resultó 1887.5MHz.

Este valor de frecuencia central será de mucha importancia, ya que la aplicación LabView lo requiere para realizar un barrido de frecuencias con un ancho de banda de 5 MHz que es la medida del rango que se va a analizar,

en otras palabras LabView necesita la frecuencia central y hacer un barrido de 5 MHz para obtener el valor de la potencia que se encuentra en ese rango para ese determinado tiempo.

**1945-1950 MHz:** Este rango de frecuencia pertenece a la operadora MOVISTAR, la cual brinda el servicio de tecnología 3G en este intervalo, lo que se va a medir en este rango de frecuencias son los niveles de potencia en los cuales trabaja normalmente dicha tecnología.

Para poder medir los niveles de potencia en este rango se calculó la frecuencia central, lo cual resultó 1947.5MHZ.

Este valor de frecuencia central será de mucha importancia, ya que la aplicación LabView lo requiere para realizar un barrido de frecuencias con un ancho de banda de 5 MHz que es la medida del rango que se va a analizar, en otras palabras LabView necesita la frecuencia central y hacer un barrido de 5 MHz para obtener el valor de la potencia que se encuentra en ese rango para ese determinado tiempo.

**1965-1970 MHz:** Este rango de frecuencias pertenece a la operadora CLARO, la cual brinda el servicio de tecnología 3G en este intervalo, lo que se va a medir en este rango de frecuencias son los niveles de potencia en los cuales trabaja normalmente dicha tecnología.

Para poder medir los niveles de potencia en este rango se calculó la frecuencia central, lo cual resultó 1967.5MHZ.

Este valor de frecuencia central será de mucha importancia, ya que la aplicación LabView lo requiere para realizar un barrido de frecuencias con un ancho de banda de 5 MHz que es la medida del rango que se va a analizar, en otras palabras LabView necesita la frecuencia central y hacer un barrido de 5 MHz para obtener el valor de la potencia que se encuentra en ese rango para ese determinado tiempo.

Como se mencionó en capítulos anteriores, las mediciones van a ser realizadas durante una semana ininterrumpidamente por piso, para así poder

obtener valores mucho más reales, todo esto se lo realizara para los cuatro rangos de frecuencia mencionados anteriormente.

Luego de culminar el procesamiento de datos, el estudio pasará a una última etapa, etapa 3 de acuerdo a la tabla 6, en la cual los datos obtenidos por parte de la USRP se guardarán en un archivo EXCEL. Una vez que ya se encuentren los valores de potencia dentro de un archivo EXCEL mediante la PC, se procederá finalmente al análisis de los datos obtenidos mediante tendencias estadísticas, para ver la posibilidad de que los datos se asemejen de la mayor forma posible a un modelo estadístico ya conocido, y así poder dar una respuesta al problema mencionado en el capítulo 1.

Para poder analizar los datos guardados por la USRP se deben hacer unos pequeños filtros de datos para poder hacer un análisis estadístico.

El primer filtro es calcular si cada dato obtenido por la medición es mayor o menor del umbral de potencia que permite la tecnología 3G, dicho umbral es de -85db [49]. Como se muestra en la figura 12.1.2.

	A	B	C
1	-87,463	1867345000	1
2	-85,389	1867335000	1
3	-87,59	1867760000	1
4	-89,852	1867340000	1
5	-88,855	1867080000	1
6	-86,747	1867795000	1
7	-87,408	1867350000	1
8	-89,997	1867310000	1
9	-89,655	1867200000	1
10	-84,21	1867285000	0
11	-88,243	1867265000	1
12	-86,548	1867350000	1
13	-86,146	1867350000	1
14	-86,651	1867835000	1
15	-89,569	1867340000	1
16	-85,619	1867780000	1
17	-86,407	1867760000	1
18	-89,04	1868925000	1
19	-88,843	1867330000	1
20	-85,626	1867875000	1
21	-86,452	1867165000	1
22	-88,588	1867165000	1
23	-87,693	1867205000	1
24	-89,895	1867350000	1
25	-87,83	1867765000	1
26	-87,144	1868535000	1
27	-90,461	1867665000	1
28	-90,487	1867810000	1
29	-89,217	1867170000	1
30	-87,557	1867785000	1

**Figura 3.1.2: Datos Analizados en Excel**

Tal como se observa en la Figura 12.1.2 se tienen 3 columnas, la columna A corresponde a los datos obtenidos por medio de la USRP, es decir, los niveles de potencia obtenidos en las mediciones, luego, en la columna B, se encuentran las frecuencias centrales, que para este caso corresponde al rango de frecuencias (1865-1870 MHz) que tiene como frecuencia central 1867.5MHz, luego, en la columna C, se encuentran los resultados de la comparación realizada entre los datos obtenidos y el valor referencial de potencia para que la tecnología 3G pueda funcionar normalmente, el cual es -85db, la respuesta puede ser 1 o 0, para el caso que sea 1 es verdadero y significa que el valor es mayor o igual al valor referencial, y para el caso sea 0 es falso y significa que el valor es menor que el valor referencial.

El mismo procedimiento se realizará para el resto de canales, se analizarán los 4 canales que han sido especificados en el capítulo 1, para el análisis se decidió realizar el análisis sobre tres pisos, y por tanto tres alturas diferentes del edificio, los cuales son: Planta Baja, Quinto Piso y Décimo primer Piso.

Se eligieron estos tres pisos con el fin de que el análisis tenga diferentes escenarios y así poder llegar a una mejor respuesta al problema, ya que cada piso tiene sus respectivas propiedades tales como, interferencia, debilitamiento de señal, latencia, etc., esto se va a explicar con más detalle en el capítulo 4.

Otro filtro a realizar es básicamente sacar un promedio de los datos obtenidos, el total de datos obtenidos es 58795, a partir de estos datos se obtiene un promedio de cada 28 muestras y con eso se obtienen 2.099 datos. Ver figura 3.1.3.

	A	B	C	D	E
1	-87,463	1867345000	1		0,95833333
2	-85,389	1867335000	1		0,91666667
3	-87,59	1867760000	1		1
4	-89,852	1867340000	1		0,95833333
5	-88,855	1867080000	1		0,91666667
6	-86,747	1867795000	1		1
7	-87,408	1867350000	1		0,91666667
8	-89,997	1867310000	1		0,95833333
9	-89,655	1867200000	1		0,91666667
10	-84,21	1867285000	0		0,95833333
11	-88,243	1867265000	1		0,875
12	-86,548	1867350000	1		1
13	-86,146	1867350000	1		1
14	-86,651	1867835000	1		1
15	-89,569	1867340000	1		0,91666667
16	-85,619	1867780000	1		1
17	-86,407	1867760000	1		0,91666667
18	-89,04	1868925000	1		0,91666667
19	-88,843	1867330000	1		1
20	-85,626	1867875000	1		0,91666667
21	-86,452	1867165000	1		1
22	-88,588	1867165000	1		0,95833333
23	-87,693	1867205000	1		1
24	-89,895	1867350000	1		0,91666667
25	-87,83	1867765000	1		0,95833333
26	-87,144	1868535000	1		0,95833333
27	-90,461	1867665000	1		0,95833333
28	-90,487	1867810000	1		0,95833333
29	-89,217	1867170000	1		0,95833333
30	-87,557	1867785000	1		1

**Figura 3.1.3: Datos Analizados en Excel**

Como se observa en la figura 3.1.3, en la Columna E se muestran los resultados del promedio que se realiza por cada 28 muestras y con esos datos se va a realizar el análisis estadístico. La razón por la que se escoge 2.099 datos es porque al tener los 58797 datos sería muy complicado poder analizar esta cantidad de datos, por ende, se saca el promedio cada 28 datos de las muestras, se escoge este valor 28 porque al dividir para el total de muestras se obtiene un valor de 2.099 que es un valor apropiado para poder hacer un análisis estadístico.

Con esta cantidad de datos se puede realizar una aproximación hacia una variable estadística conocida y es eso lo que se va a realizar. El análisis

termina cuando los datos obtenidos luego de realizar los filtros antes mencionados, se grafican en el programa "EasyFit" y se obtiene una aproximación hacia una variable estadística y poder asegurar que la tendencia converge a esa función, con eso se da a una respuesta a la problemática que se planteó.

### 3.2 Modelamiento

**Distribución Gamma.-** Es una distribución adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias continuas con asimetría positiva. Es decir, variables que presentan una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha. En su expresión se encuentran dos parámetros, siempre positivos, ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ) de los que depende su forma y alcance por la derecha, y también la función Gamma  $\Gamma(\alpha)$ , responsable de la convergencia de la distribución.

#### **Parámetros de la Distribución Gamma:**

- ( $\alpha$ ) parámetro de forma continua ( $\alpha > 0$ )
- ( $\beta$ ) parámetro de escala continua ( $\beta > 0$ )
- ( $\gamma$ ) parámetro continuo de localización

#### **Dominio de la función:**

$$\gamma \leq x < +\infty$$

#### **Función Densidad de Probabilidad:**

$$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-(x - \gamma)/\beta)$$

#### **Función de Distribución Acumulada:**

$$F(x) = \frac{\Gamma_{(x-\gamma)/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

Parámetros

$\alpha$	<input type="text" value="2"/>
$\beta$	<input type="text" value="1"/>
$\gamma$	<input type="text" value="0"/>

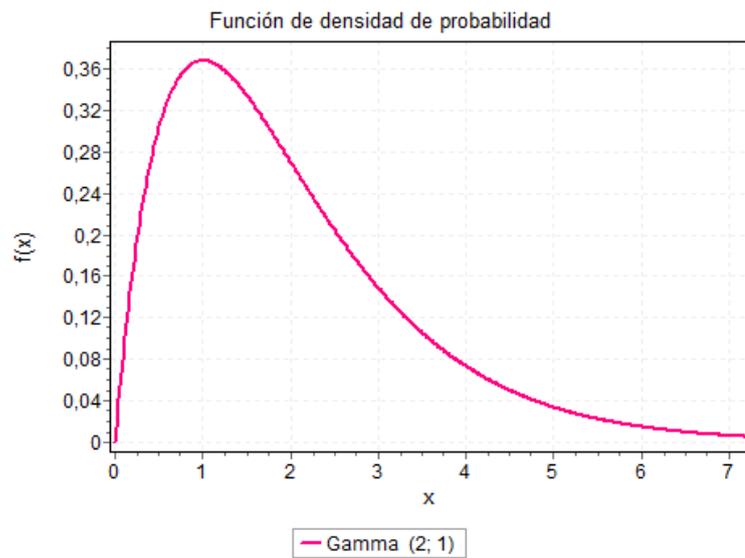


Figura 3.2.1: Función densidad de probabilidad distribución Gamma

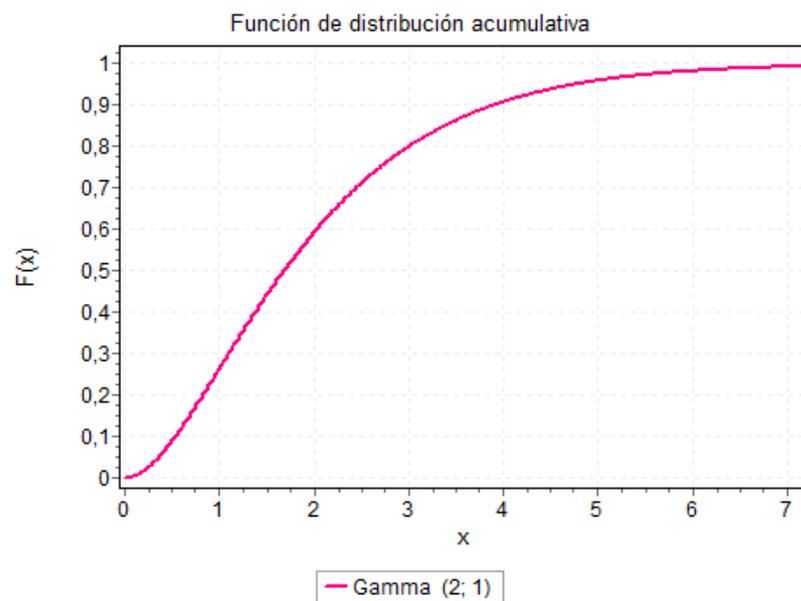


Figura 3.2.2: Función densidad de probabilidad distribución Gamma

**Distribución Gaussiana Inversa.-** Esta distribución nace a partir de una Gaussiana con distribución normal. Tiene varias propiedades análogas a una distribución Gaussiana. Se trata de una "inversa" solo que, mientras la Gaussiana describe un movimiento Browniano para un tiempo fijo, la inversa de Gauss describe la distribución del tiempo de movimiento Browniano con derivación positiva que se necesita para llegar a un nivel positivo. Su función acumulada es la inversa de la función acumulada de una variable aleatoria Gaussiana.

**Parámetros de la Distribución Gaussiana Inversa:**

- ( $\lambda$ ) parámetro de forma continua ( $\lambda > 0$ )
- ( $\mu$ ) parámetro de forma continua ( $\mu > 0$ )
- ( $\gamma$ ) parámetro continuo de localización

**Dominio de la función:**

$$\gamma \leq x < +\infty$$

**Función Densidad de Probabilidad.-**

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi(x-\gamma)^3}} \exp\left(-\frac{\lambda(x-\gamma-\mu)^2}{2\mu^2(x-\gamma)}\right)$$

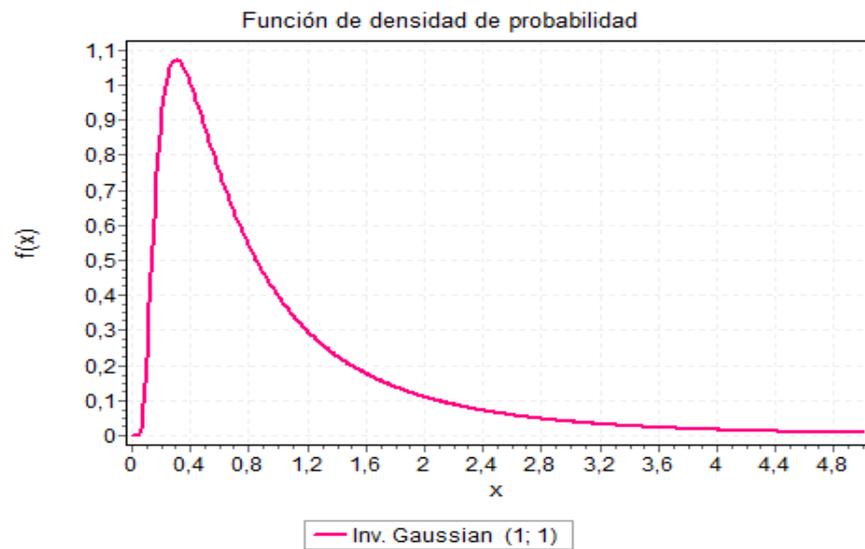
**Función de Distribución Acumulada.-**

$$F(x) = \Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}-1\right)\right) + \exp(2\lambda/\mu) \Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}+1\right)\right)$$

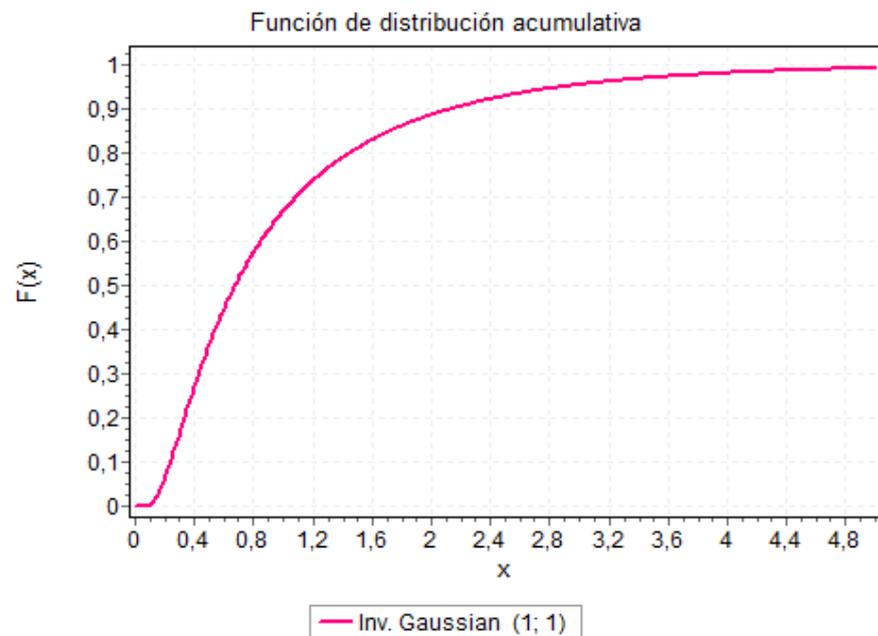
Donde  $\Phi$  es la Integral de Laplace

**Parámetros** ⤴

$\lambda$	<input type="text" value="1"/>
$\mu$	<input type="text" value="1"/>
$\gamma$	<input type="text" value="0"/>



**Figura 3.2.3: Función densidad de probabilidad Gaussiana Inversa**



**Figura 3.2.4: Distribución acumulada de la Gaussiana Inversa**

**Distribución Generalizada del Valor Extremo.-** En la teoría de las probabilidades, la distribución generalizada de Valor extremo pertenece a una familia de distribuciones de probabilidad continua desarrolladas dentro de la teoría del valor extremo y nace como una combinación entre las distribuciones de Gumbel, Frechet y Weibull. Esta distribución se utiliza a menudo como una aproximación para modelar los valores máximos de largas secuencias (finitas) de variables aleatorias.

**Parámetros de la Distribución Generalizada del Valor Extremo:**

- (k) parámetro de forma continua
- ( $\sigma$ ) parámetro de escala continua ( $\sigma > 0$ )
- ( $\mu$ ) parámetro continuo de localización

**Dominio de la función:**

$$1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0 \quad k \neq 0$$

$$-\infty < x < +\infty \quad k = 0$$

**Función Densidad de Probabilidad.-**

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp(-(1 + k z)^{-1/k}) (1 + k z)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$$

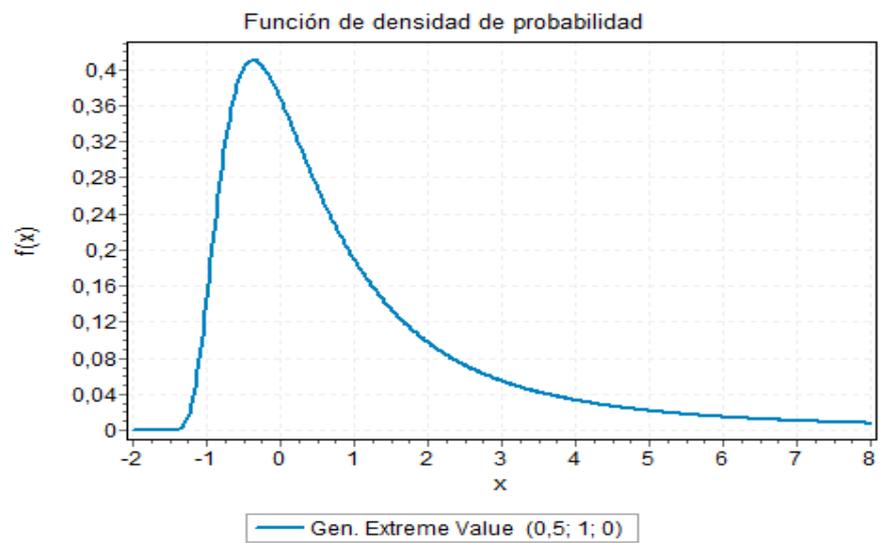
**Función de Distribución Acumulada.-**

$$F(x) = \begin{cases} \exp(-(1 + k z)^{-1/k}) & k \neq 0 \\ \exp(-\exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$$

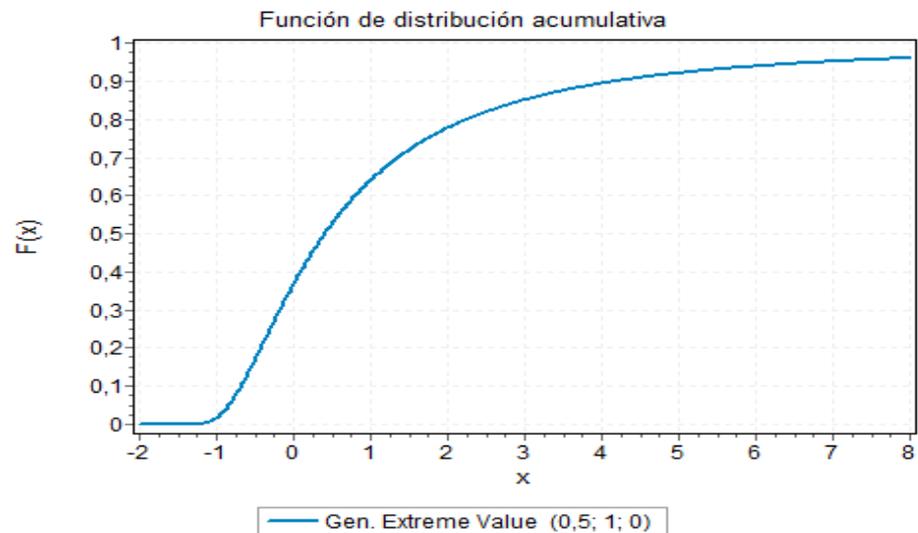
Donde:  $z \equiv \frac{x - \mu}{\sigma}$

Parámetros

k	<input type="text" value="0,5"/>
$\sigma$	<input type="text" value="1"/>
$\mu$	<input type="text" value="0"/>



**Figura 3.2.5: Función densidad de probabilidad  
distribución Generalizada de Valor Extremo**



**Figura 3.2.6: Función acumulada de la distribución  
Generalizada de Valor Extremo**

## CAPÍTULO 4

### 4. ANALISIS DE DATOS Y EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se mostrarán los resultados del análisis espectral del problema mencionado en el capítulo anterior, detallando los procedimientos que se realizaron para dichos análisis, tales como:

- Configuración del equipo USRP.
- Procesamiento de datos en Excel y Matlab.
- Obtención de Gráficos Estadístico.
- Encontrar la mejor solución al problema.

Una vez que se detallaron los pasos antes mencionados, se escogerá el mejor modelo estadístico, el cual cumpla con todas las condiciones para resolver el problema de escasez de espectro radioeléctrico.

#### 4.1 Configuración de equipo USRP

Para este análisis se utilizó el equipo USRP, la cual fue configurada de la siguiente manera:

##### Canal 1 (1865-1870 MHz)

Parámetros	Valores
Frecuencia inicial	1865 MHz
Frecuencia Final	1870 MHz
Frecuencia Central	1867.5 MHz
Ancho de banda del Canal	5MHz

**Tabla 7. Datos de Configuración del canal 1**

### **Canal 2 (1885-1890 MHz)**

Parámetros	Valores
Frecuencia inicial	<b>1885 MHz</b>
Frecuencia Final	<b>1890 MHz</b>
Frecuencia Central	<b>1887.5 MHz</b>
Ancho de banda del Canal	<b>5MHz</b>

**Tabla 8. Datos de Configuración del canal 2**

### **Canal 3 (1945-1950 MHz)**

Parámetros	Valores
Frecuencia inicial	<b>1945 MHz</b>
Frecuencia Final	<b>1950 MHz</b>
Frecuencia Central	<b>1947.5 MHz</b>
Ancho de banda del Canal	<b>5MHz</b>

**Tabla 9. Datos de Configuración del canal 3**

### **Canal 4 (1965-1970 MHz)**

Parámetros	Valores
Frecuencia inicial	<b>1965 MHz</b>
Frecuencia Final	<b>1970 MHz</b>
Frecuencia Central	<b>1967.5 MHz</b>
Ancho de banda del Canal	<b>5MHz</b>

**Tabla 10. Datos de Configuración del canal 4**

Dado que los canales que se analizaron no son continuos, es decir, tienen saltos, se tuvo que especificar por canal la configuración de los mismos. El tiempo de medición es de una semana por piso, el análisis fue realizado sobre tres pisos del edificio antes mencionado en capítulos anteriores, se llegó a tomar 58797 muestras, lo cual representa el nivel de potencia del canal analizado.

Estos datos se guardarán automáticamente en un archivo EXCEL para luego ser utilizados en el respectivo estudio.

## **4.2 Procesamiento de datos en Matlab**

Luego de la obtención de datos se analizaron, en el siguiente orden:

- Validación de los datos de niveles de potencia obtenidos.
- Muestreo de los datos de niveles potencia por canales.
- Muestreo de los promedios de los datos de potencias por canal.
- Muestreo de los datos de potencia de los tres pisos.

### **4.2.1 Validación de los niveles de potencia obtenidos**

La validación consiste en que cada dato de nivel de potencia debe estar comparado con el nivel de potencia referencial para la tecnología 3G el cual es de (-85dbm), es decir los 58797 datos deben pasar por este proceso.

Para poder hacer esta validación se necesitó de la formula `boolean(C(:,1)>=-85)`; la cual muestra la lógica siguiente, mientras la potencia sea mayor al umbral (-85dbm) el canal estará ocupado y mientras la potencia sea menor a (-85 dbm) el canal estará libre.

Se decidió esta lógica porque el análisis se basa en que si el canal está siendo utilizado o no, entonces, si la potencia recibida supera al umbral, esto significa que el canal analizado en ese momento se encuentra ocupado y si no supera al umbral se encuentra desocupado, bajo esas

circunstancias se analizarán los datos, este procedimiento se lo realizará por canal y por piso, tal como se muestra en la figura 4.2.1.1 de los datos de potencia se lo realizó en MATLAB, esto es:

	1	2	3
1	-87.4630	0	
2	-85.3890	0	
3	-87.5900	0	
4	-89.8520	0	
5	-88.8550	0	
6	-86.7470	0	
7	-87.4080	0	
8	-89.9970	0	
9	-89.6550	0	
10	-84.2100	1	
11	-88.2430	0	
12	-86.5480	0	
13	-86.1460	0	
14	-86.6510	0	
15	-89.5690	0	
16	-85.6190	0	
17	-86.4070	0	
18	-89.0400	0	
19	-88.8430	0	
20	-85.6260	0	
21	-86.4520	0	
22	-88.5880	0	
23	-87.6930	0	
24	-89.8950	0	
25	-87.8300	0	
26	-87.1440	0	
27	-90.4610	0	
28	-90.4870	0	
29	-89.2170	0	
30	-87.5570	0	
31	-88.4310	0	

**Figura 4.2.1.1: Datos Analizados en Matlab**  
**canal 1 Planta Baja**

En la columna 1 se muestran los datos obtenidos por las mediciones y en la columna 2 la validación de los mismos, estos datos son del canal1 de la planta baja, este mismo método se realizará para los próximos canales del piso respectivo, tal como se puede ver en la figura 4.2.1.2

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-87.4630	0	-89.0750	0	-72.7960	1	-60.4110	1
2	-85.3890	0	-90.9760	0	-68.7320	1	-59.1100	1
3	-87.5900	0	-86.3590	0	-68.9220	1	-57.2410	1
4	-89.8520	0	-86.6300	0	-70.9220	1	-59.7840	1
5	-88.8550	0	-88.2180	0	-68.4720	1	-55.9130	1
6	-86.7470	0	-86.0310	0	-69.8330	1	-55.6000	1
7	-87.4080	0	-86.3450	0	-62.2530	1	-65.4490	1
8	-89.9970	0	-85.4590	0	-67.0570	1	-61.3570	1
9	-89.6550	0	-84.9010	1	-57.5550	1	-66.8010	1
10	-84.2100	1	-87.1690	0	-64.4710	1	-64.3440	1
11	-88.2430	0	-86.9440	0	-68.6800	1	-61.9390	1
12	-86.5480	0	-85.4580	0	-63.6230	1	-64.0260	1
13	-86.1460	0	-86.8170	0	-62.5060	1	-58.6710	1
14	-86.6510	0	-78.1060	1	-65.0950	1	-62.8580	1
15	-89.5690	0	-86.4200	0	-63.4110	1	-62.6440	1
16	-85.6190	0	-89.9640	0	-61.2400	1	-66.6560	1
17	-86.4070	0	-85.9260	0	-66.5590	1	-63.5130	1
18	-89.0400	0	-84.5950	1	-62.8810	1	-59.9870	1
19	-88.8430	0	-87.7970	0	-61.4380	1	-64.2920	1
20	-85.6260	0	-85.8310	0	-62.6870	1	-67.5680	1
21	-86.4520	0	-85.7110	0	-66.1190	1	-64.1550	1
22	-88.5880	0	-84.3520	1	-58.3390	1	-63.1650	1
23	-87.6930	0	-89.6650	0	-62.8030	1	-60.5360	1
24	-89.8950	0	-86.8740	0	-60.2690	1	-61.8200	1
25	-87.8300	0	-86.3940	0	-59.7410	1	-61.7440	1
26	-87.1440	0	-85.2040	0	-66.2530	1	-59.6680	1
27	-90.4610	0	-85.8290	0	-61.9660	1	-61.3400	1
28	-90.4870	0	-87.2210	0	-60.8680	1	-59.9910	1
29	-89.2170	0	-86.8430	0	-62.7390	1	-57.8370	1
30	-87.5570	0	-86.1680	0	-64.2570	1	-62.9760	1
31	-88.4310	0	-70.1470	1	-66.0050	1	-63.2540	1

**Figura 4.2.1.2: Datos Analizados en Matlab de Planta Baja**

Este análisis se lo realizará para todos los pisos, tal como se muestra en las siguientes figuras.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-79.4890	1	-87.8040	0	-85.8430	1	-80.3080	1
2	-85.9060	0	-87.6860	0	-83.9890	1	-80.3590	1
3	-88.7990	0	-86.6800	0	-85.2560	1	-80.6710	1
4	-88.9920	0	-86.2270	0	-83.6260	1	-75.5670	1
5	-88.3800	0	-89.5810	0	-83.2560	1	-81.6170	1
6	-85.2530	0	-81.7500	1	-85.0390	1	-80.5210	1
7	-86.5210	0	-68.2230	1	-85.2140	1	-78.6870	1
8	-86.9950	0	-83.3000	1	-87.1480	1	-81.1860	1
9	-86.7170	0	-84.5880	1	-81.6740	1	-82.7050	1
10	-86.8750	0	-87.0850	0	-85.5910	1	-82.4840	1
11	-84.3460	1	-78.2440	1	-83.8090	1	-79.3780	1
12	-86.9640	0	-85.3730	0	-85.9030	1	-79.6220	1
13	-88.6010	0	-87.8130	0	-83.7790	1	-81.5760	1
14	-89.9300	0	-82.9610	1	-82.4800	1	-76.4850	1
15	-87.3150	0	-85.6670	0	-87.7840	1	-75.2510	1
16	-86.3750	0	-71.0060	1	-83.4610	1	-78.2650	1
17	-86.9170	0	-84.8760	1	-84.8300	1	-79.6700	1
18	-86.5050	0	-84.5240	1	-82.6580	1	-80.2750	1
19	-85.6710	0	-82.7050	1	-83.3100	1	-81.3670	1
20	-89.6770	0	-84.5500	1	-83.7420	1	-79.1180	1
21	-86.4380	0	-82.4640	1	-84.5210	1	-80.0120	1
22	-85.6910	0	-88.4240	0	-82.3730	1	-79.8560	1
23	-87.7500	0	-87.2710	0	-82.5680	1	-79.1430	1
24	-87.9360	0	-82.8290	1	-82.6740	1	-79.4270	1
25	-85.7650	0	-83.0120	1	-85.2430	1	-77.8590	1
26	-85.8090	0	-85.0840	0	-83.8220	1	-79.3390	1
27	-87.7860	0	-84.2360	1	-82.3870	1	-78.9270	1
28	-88.4700	0	-86.0120	0	-84.2110	1	-80.5430	1
29	-85.9900	0	-83.0060	1	-81.2230	1	-76.0800	1
30	-84.9780	1	-81.9700	1	-81.4410	1	-79.7270	1

**Figura 4.2.1.3: Datos Analizados en Matlab de Quinto Piso**

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-90.9180	0	-88.5650	0	-73.8100	1	-63.1600	1
2	-88.7740	0	-87.6560	0	-73.0810	1	-62.2110	1
3	-87.8610	0	-87.8460	0	-72.7130	1	-60.1570	1
4	-87.5740	0	-80.5520	1	-73.4090	1	-61.3260	1
5	-89.9270	0	-87.0220	0	-72.8320	1	-58.7750	1
6	-88.5940	0	-90.3250	0	-72.6010	1	-63.1550	1
7	-87.3730	0	-87.2530	0	-73.8790	1	-63.0620	1
8	-91.0770	0	-87.1710	0	-72.3830	1	-60.1240	1
9	-90.0900	0	-80.9920	1	-72.4190	1	-60.0370	1
10	-86.6120	0	-87.0950	0	-72.6330	1	-61.5990	1
11	-88.9520	0	-85.4050	0	-71.1620	1	-60.2980	1
12	-90.1510	0	-88.6010	0	-73.3520	1	-60.4110	1
13	-90.0010	0	-84.2700	1	-72.9610	1	-59.9820	1
14	-88.8110	0	-88.8630	0	-74.7610	1	-59.0970	1
15	-88.2180	0	-87.5840	0	-72.6060	1	-60.7320	1
16	-87.7940	0	-86.3400	0	-72.9090	1	-58.3870	1
17	-86.6330	0	-90.6570	0	-73.2300	1	-62.0860	1
18	-89.9270	0	-87.5440	0	-71.4600	1	-63.2290	1
19	-86.7430	0	-87.5170	0	-72.1360	1	-59.5370	1
20	-87.6170	0	-86.7450	0	-72.0410	1	-60.5610	1
21	-87.2200	0	-85.0780	0	-70.3830	1	-63.3500	1
22	-91.9310	0	-90.5560	0	-73.4520	1	-60.0320	1
23	-90.2540	0	-85.3290	0	-72.3580	1	-58.3460	1
24	-89.4420	0	-88.3450	0	-73.4680	1	-61.9960	1
25	-88.8580	0	-87.6960	0	-73.7700	1	-57.9130	1
26	-88.1840	0	-86.4320	0	-72.2520	1	-59.0040	1
27	-86.9830	0	-87.8180	0	-70.8230	1	-59.7070	1
28	-86.7770	0	-87.4160	0	-73.9180	1	-59.3740	1
29	-88.7930	0	-88.3960	0	-71.6820	1	-58.6950	1
30	-87.4610	0	-86.6520	0	-70.7610	1	-61.8680	1

**Figura 4.2.1.4: Datos Analizados en Matlab**

### de Décimo Primer Piso

#### 4.2.2 Muestreo de los niveles de potencia por canales

En esta parte se procederá a utilizar los datos de niveles de potencia para poder hacer un muestreo con respecto al tiempo de captura de datos en minutos, es decir, del total de datos de niveles de potencia obtenidos, que es 58797, se analizará para un número de muestras el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$NM = MH * HD * DS = 60 * 24 * 7 = 10.080 \text{ muestras por minuto}$$

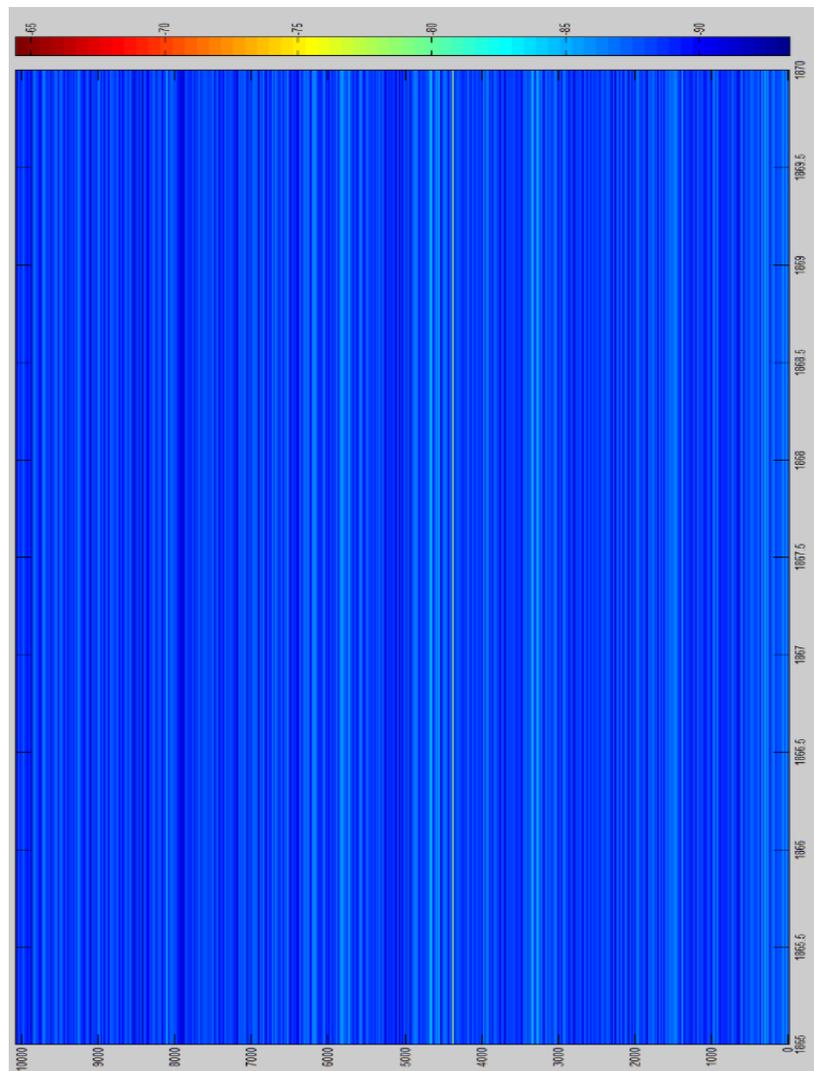
NM= número de muestras por minuto.

MH= cantidad de minutos en una hora.

HD= cantidad de horas en un día.

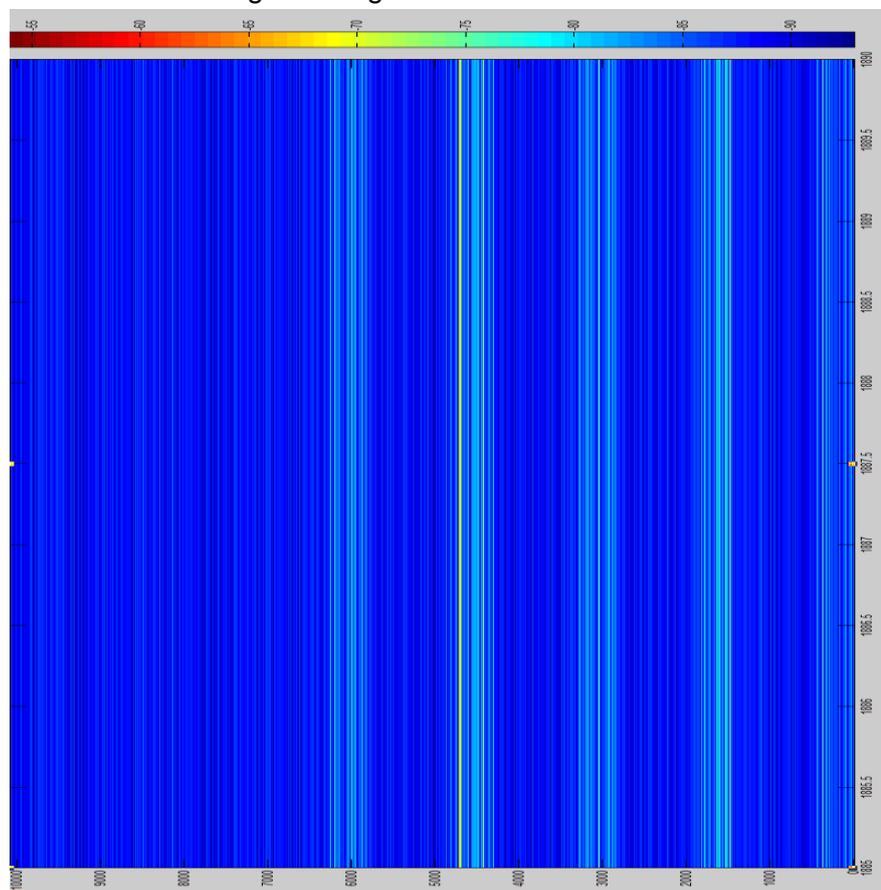
DS= Cantidad de días en una semana.

Este muestreo se lo representa con un gráfico en Matlab con la función “lamgesc” la cual recibe como parámetro tres variables Columnas, Filas y PotenciaCanal, la variable columnas representa a las frecuencias analizadas por canal, la variable Filas representa las muestras en este caso las 10.080 muestras y la variable PotenciaCanal representa a todas las frecuencias por canal obtenidas anteriormente. Este gráfico se representa por colores que están dados por los niveles de potencia, tal como se muestra en la figura 4.2.2.1



**Figura 4.2.2.1: Muestreo de niveles de potencia  
canal1 Planta Baja**

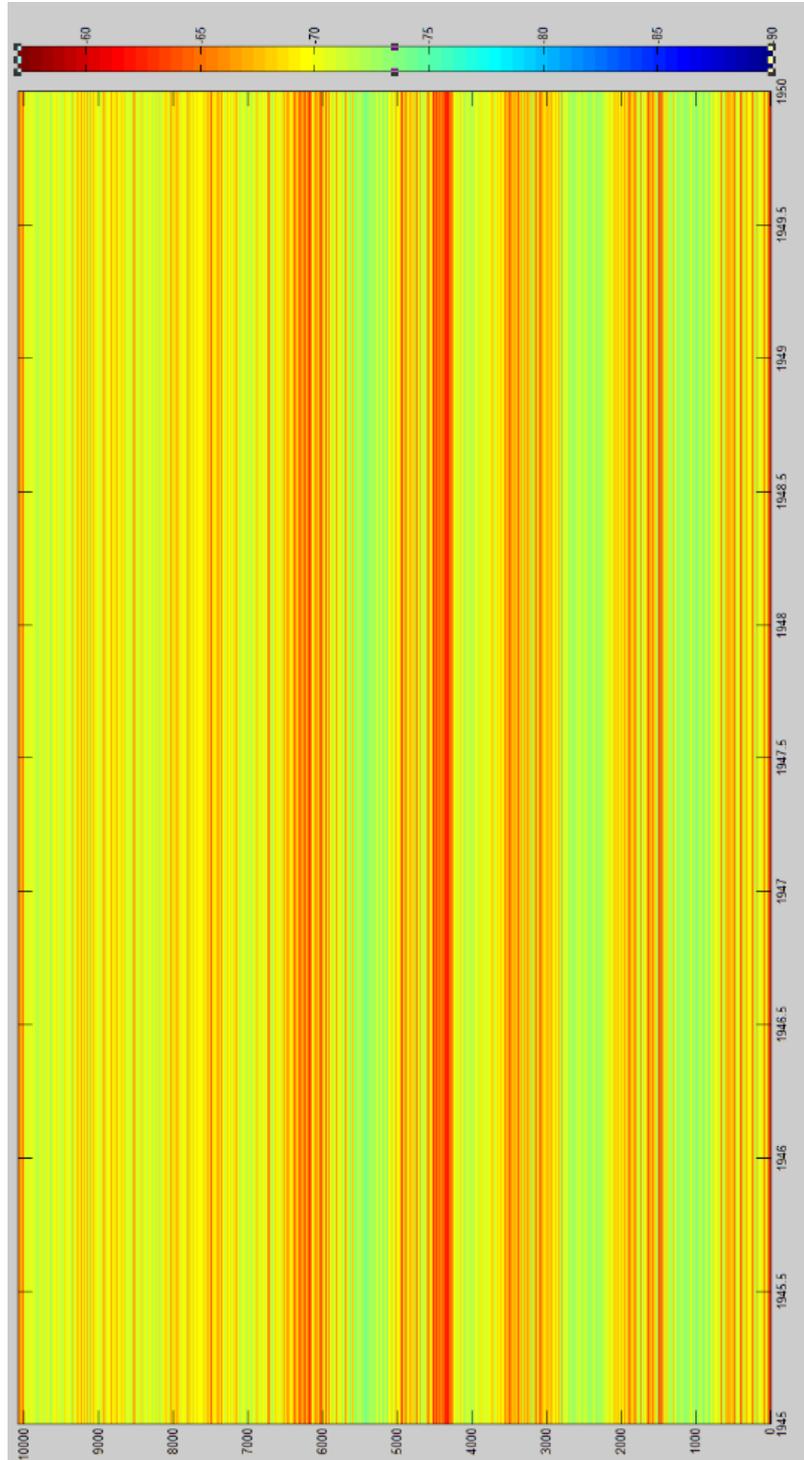
Este gráfico representa claramente el uso del canal, como se mencionó anteriormente, los valores mayores al umbral representan el uso del canal y los valores menores a este umbral representan que no está ocupado el canal. Los valores de potencia están representados por colores, lo cual claramente indica que este canal está siendo utilizado en varios periodos de tiempo, y permite deducir que está apto para ser analizado. Este mismo análisis se realizará a partir de ahora con todos los canales y para todos y cada uno de los diferentes pisos, tal como se muestra en las siguientes gráficas.



**Figura 4.2.2.2: Muestreo de niveles de potencia**

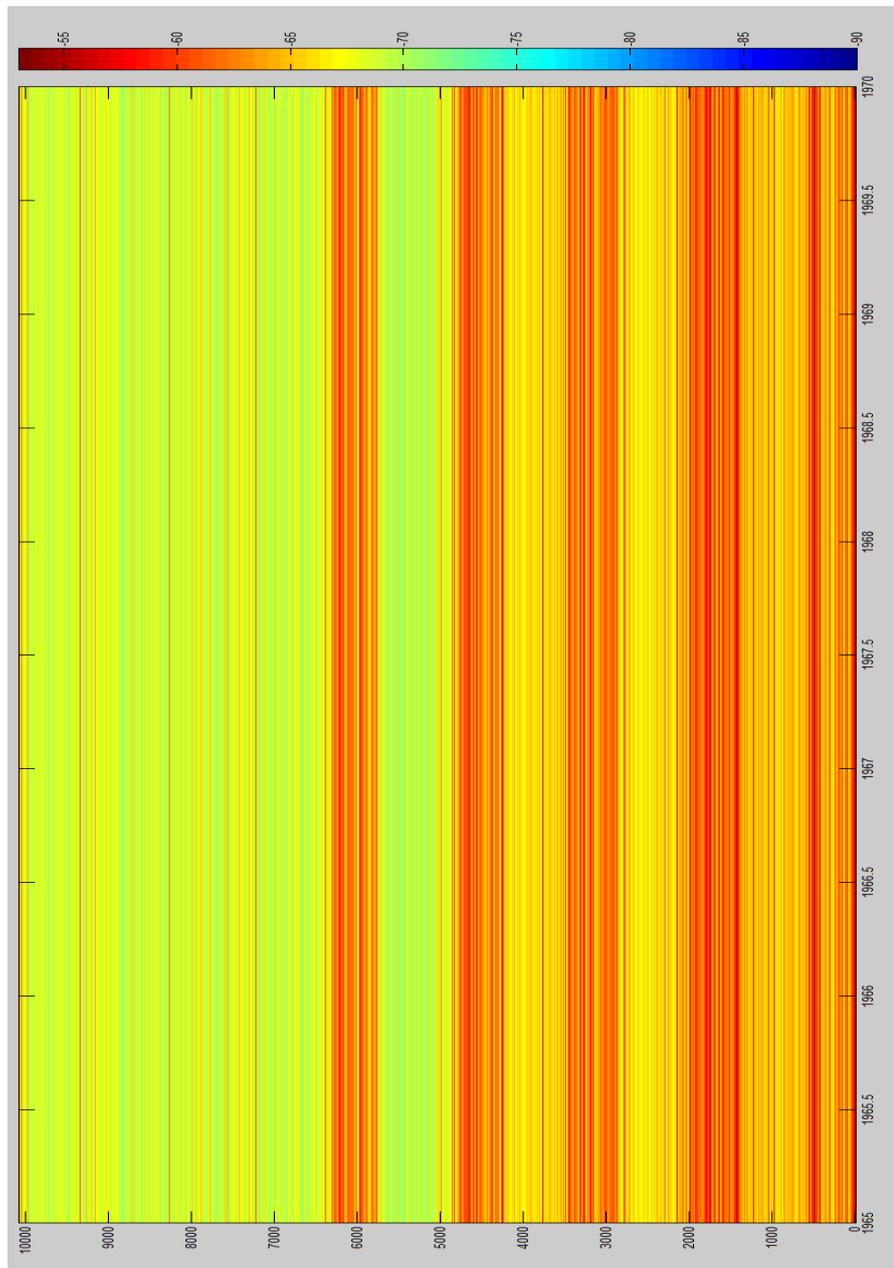
#### **canal2 Planta Baja**

Con respecto a este gráfico se dice que está apto para ser analizado ya que se observa claramente que no está siendo utilizado todo el tiempo y existe una variación del uso con respecto al tiempo.



**Figura 4.2.2.3: Muestreo de niveles de potencia**

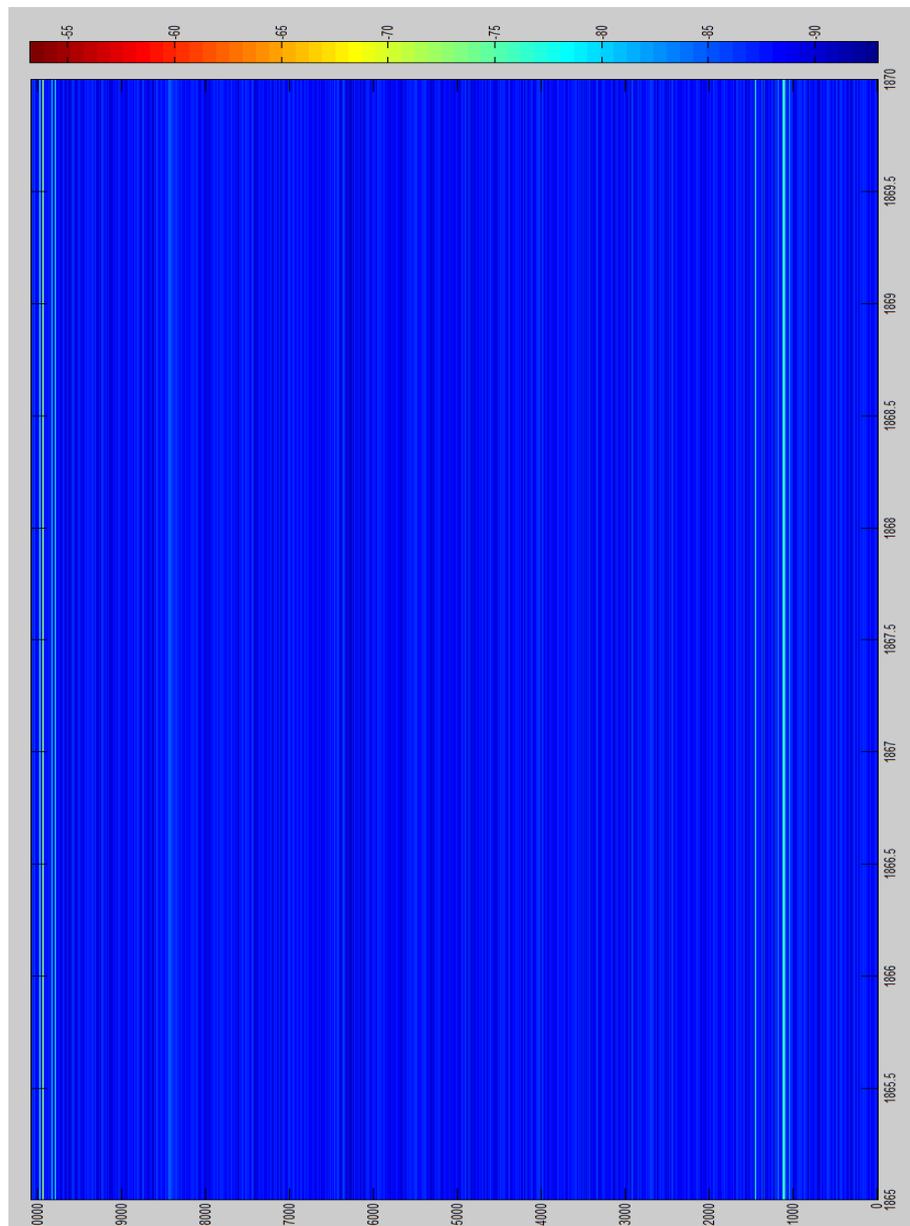
**canal3 Planta Baja**



**Figura 4.2.2.4: Muestreo de niveles de potencia**

**canal4 Planta Baja**

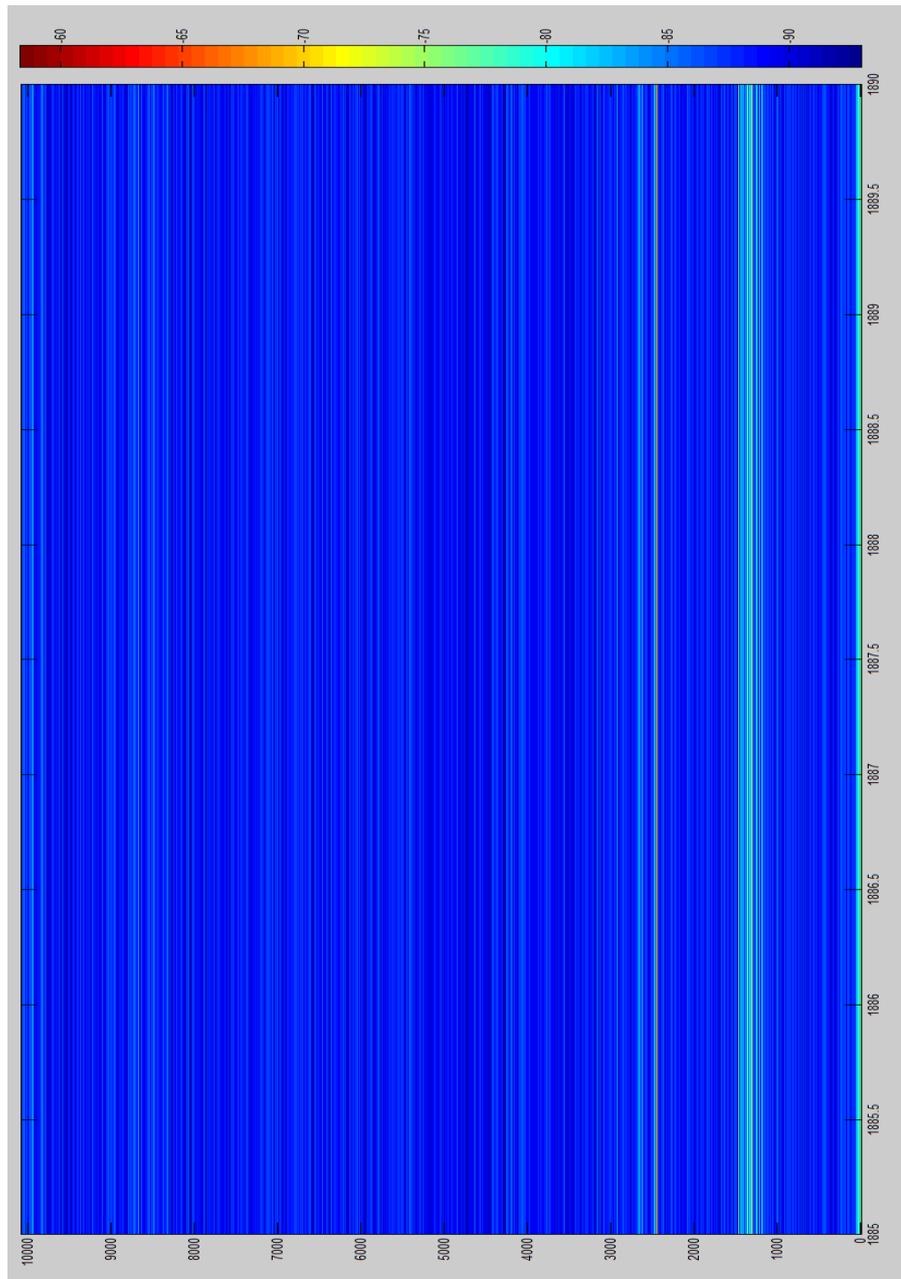
En estos gráficos se observa claramente que los canales se encuentran ocupados y es por esta razón que no se pueden analizar estadísticamente, porque no existen espacios para un posible uso del canal.



**Figura 4.2.2.5: Muestreo de niveles de potencia**

### **canal1 Quinto Piso**

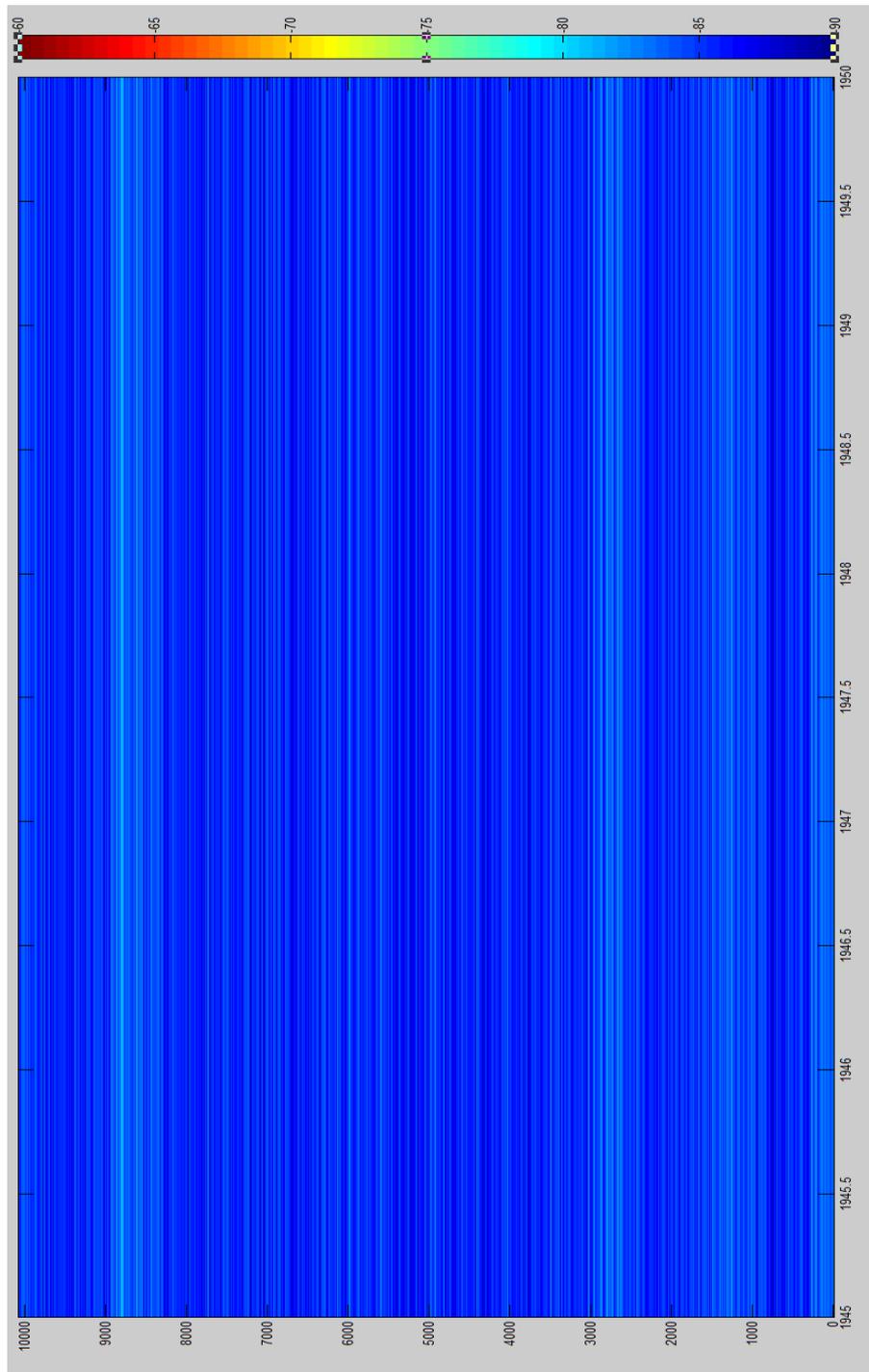
Este gráfico representa claramente que este canal se encuentra libre la mayor parte del tiempo posible, sin embargo, gracias a esas pequeñas muestras que indican que el canal es utilizado en determinados instantes de tiempo, este canal sirve para un posible análisis del mismo.



**Figura 4.2.2.6: Muestreo de niveles de potencia**

### **canal2 Quinto Piso**

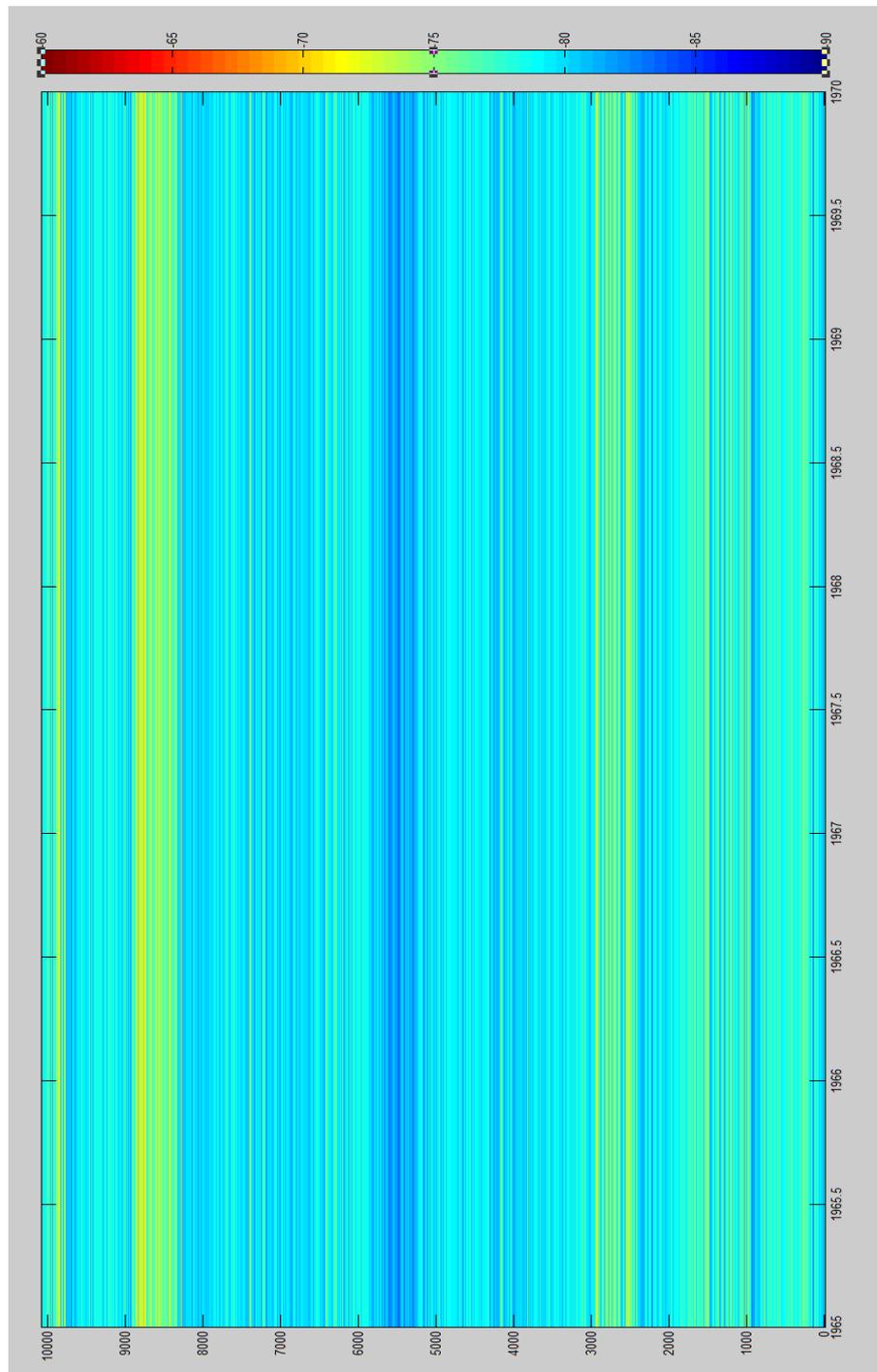
Al igual que el anterior, este gráfico representa claramente que este canal se encuentra libre la mayor parte del tiempo posible, sin embargo, gracias a esas pequeñas muestras que indican que el canal es utilizado en un determinado tiempo, este canal sirve para un posible análisis del mismo.



**Figura 4.2.2.7: Muestreo de niveles de potencia**

### **canal3 Quinto Piso**

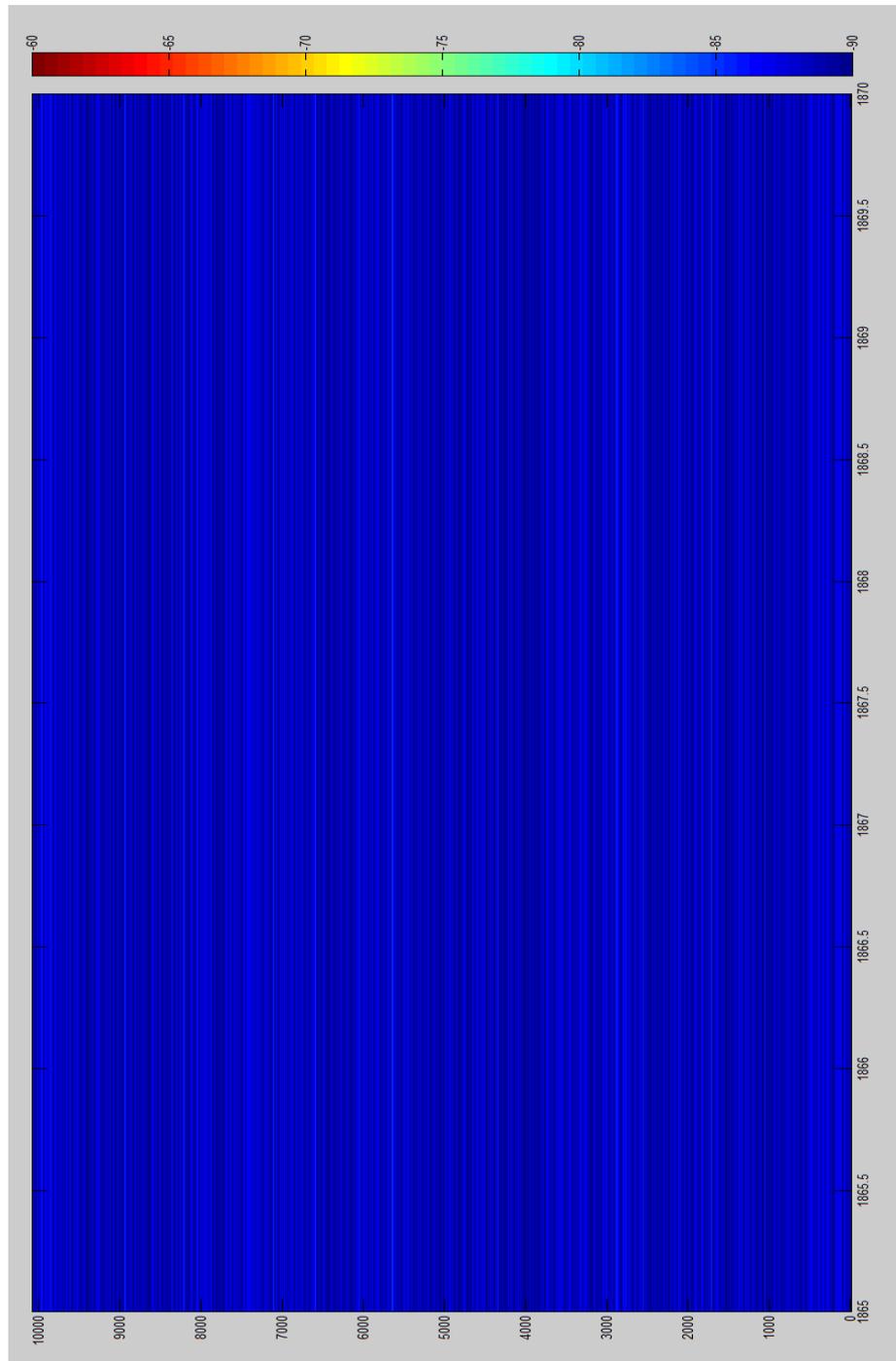
Como se puede observar este canal es apto para un posible análisis, debido a que existen tiempos en el cual el canal está siendo utilizado.



**Figura 4.2.2.8: Muestreo de niveles de potencia**

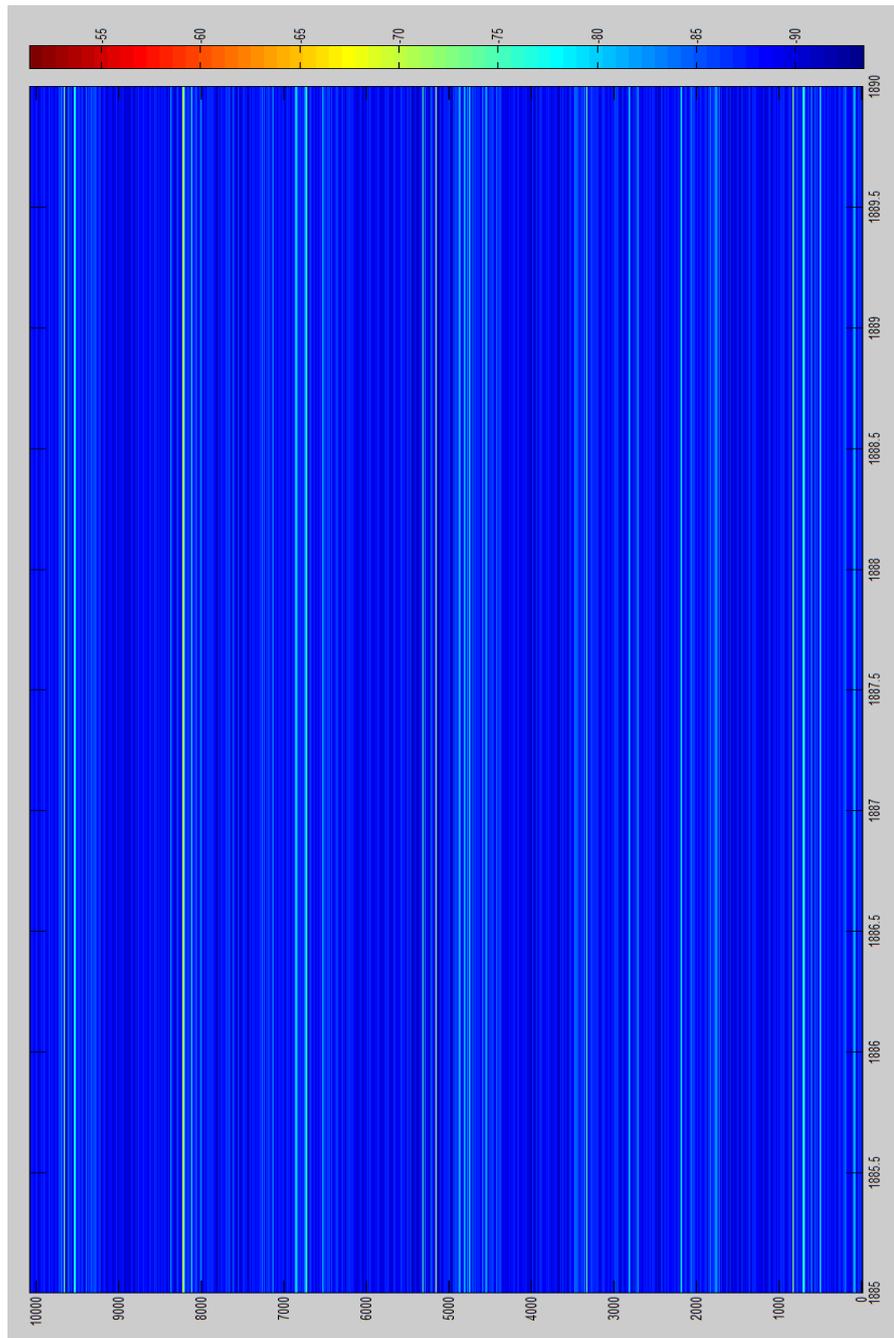
**canal4 Quinto Piso**

Este canal está totalmente utilizado es por esa razón que no se va analizar.



**Figura 4.2.2.9: Muestreo de datos de niveles de potencia canal1 Décimo Primer Piso**

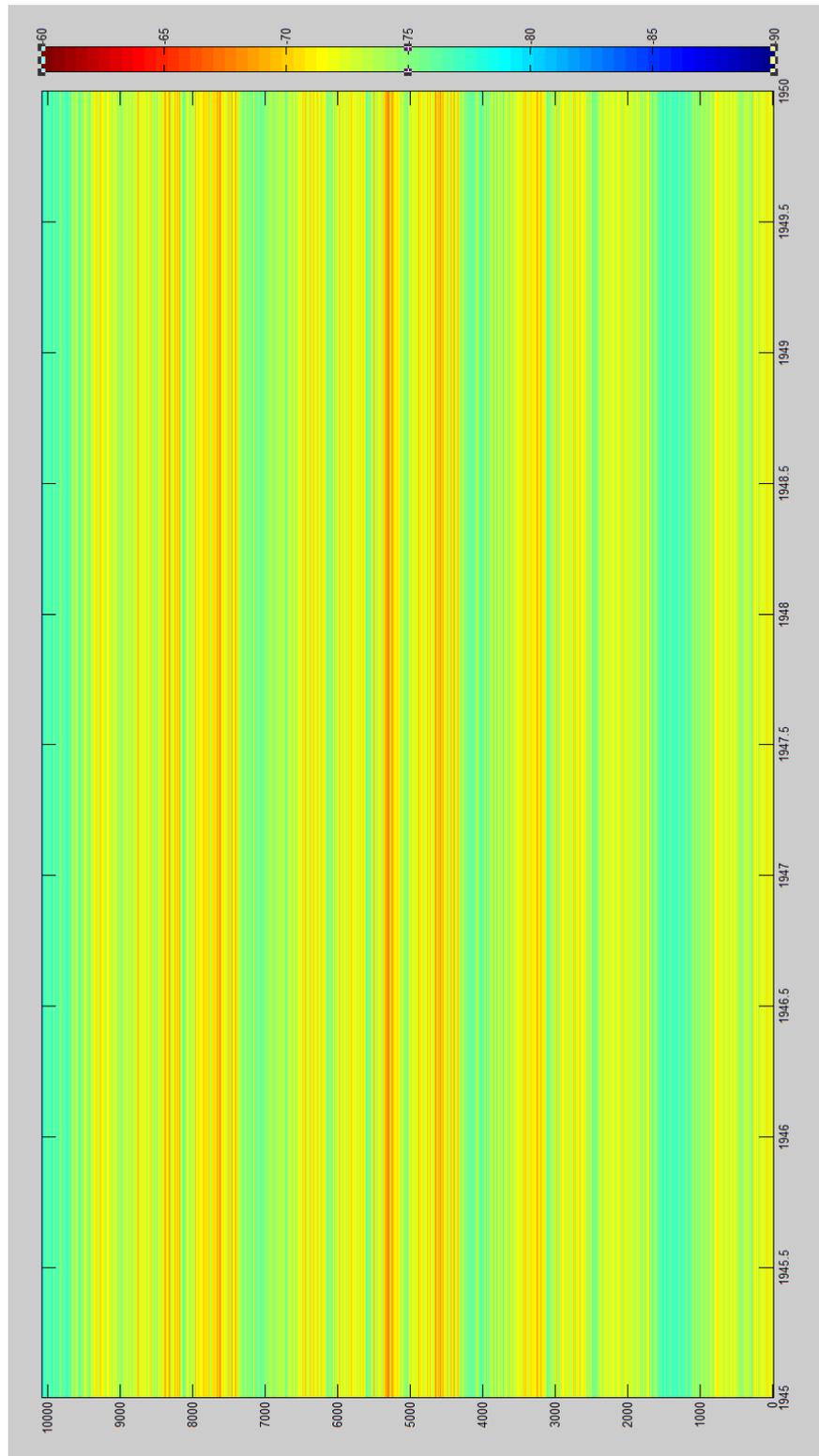
Como se puede observar este canal es apto para un posible análisis, debido a que existen tiempos en el cual el canal está siendo utilizado.



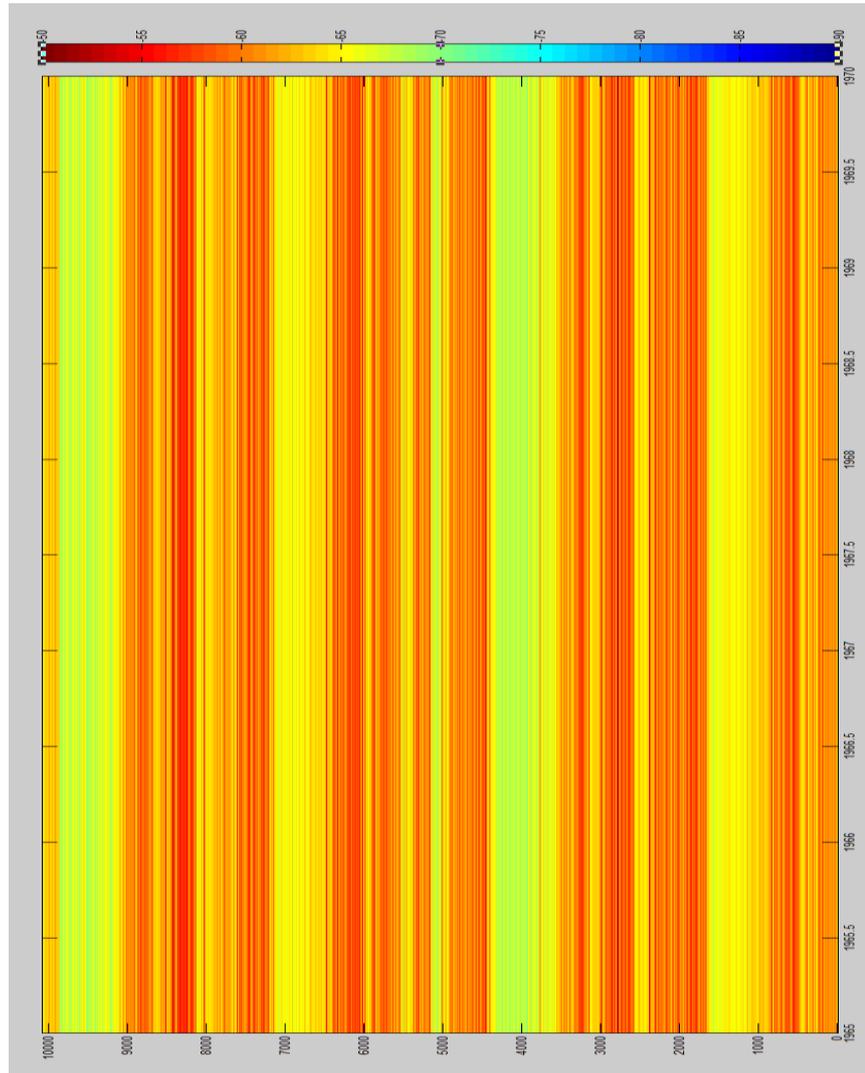
**Figura 4.2.2.10: Muestreo de datos de niveles de potencia**

### **canal2 Décimo Primer Piso**

Como se puede observar en el gráfico, este canal es apto para un posible análisis, debido a que existen instantes de tiempo en los cuales el canal está siendo utilizado.



**Figura 4.2.2.11: Muestreo de datos de niveles de potencia  
canal3 Décimo Primer Piso**

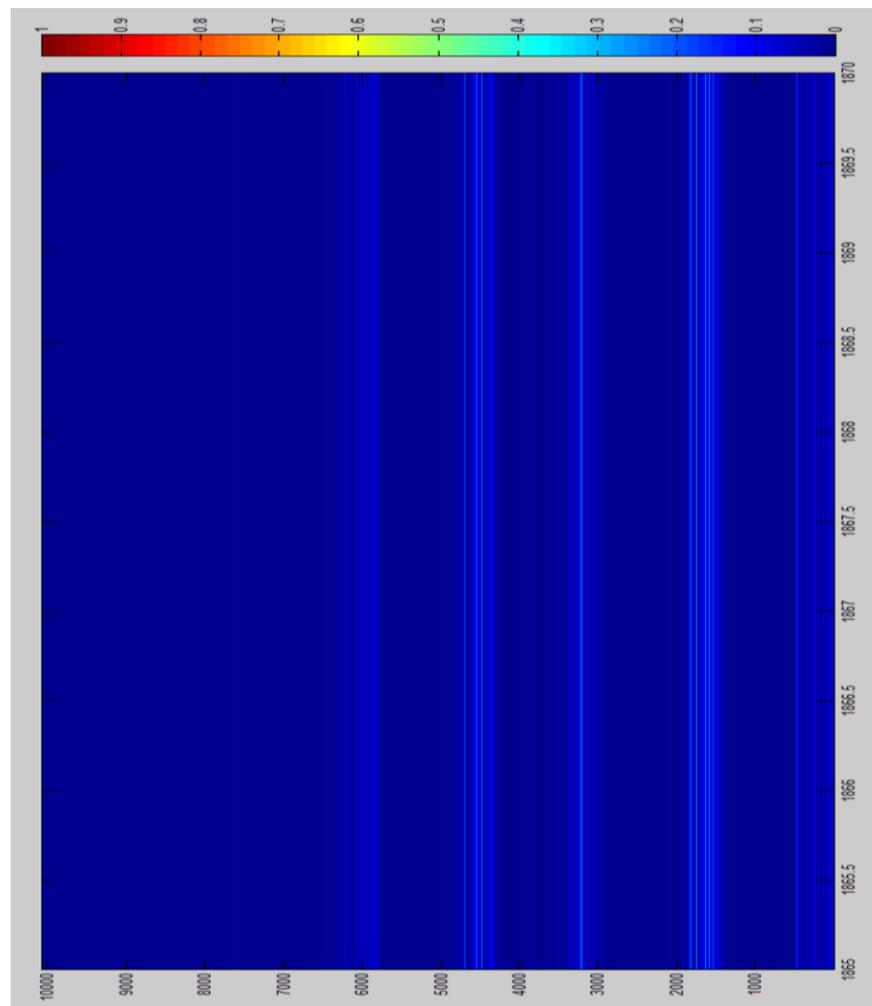


**Figura 4.2.2.12: Muestreo de datos de niveles de potencia canal4 Décimo Primer Piso**

En estos gráficos se observa claramente que los canales están ocupados y es por esta razón que no se pueden analizar estadísticamente, porque no existen espacios para un posible uso del canal, luego de realizar el análisis que se detalló anteriormente, ahora se van a analizar los datos con una muestra menor, esta será aproximadamente de 2000 datos, se escoge esta cantidad ya que es un valor muy apropiado para realizar una aproximación hacia variables estadísticas conocidas, el valor de la nueva muestra se lo obtiene de la siguiente manera, de la cantidad de datos que se tienen, 58797, se

divide para 28 y esto da un valor de 2099 datos, esto es un valor óptimo para realizar un análisis estadístico, luego de este cálculo, se lleva a cabo el análisis en el programa MATLAB, que se asemeja con lo mostrado anteriormente, la diferencia con respecto al análisis anterior es que estos datos serán importantes para comparar con las variables estadísticas que se mencionaron en el capítulo anterior.

El análisis se detallará con las siguientes imágenes.



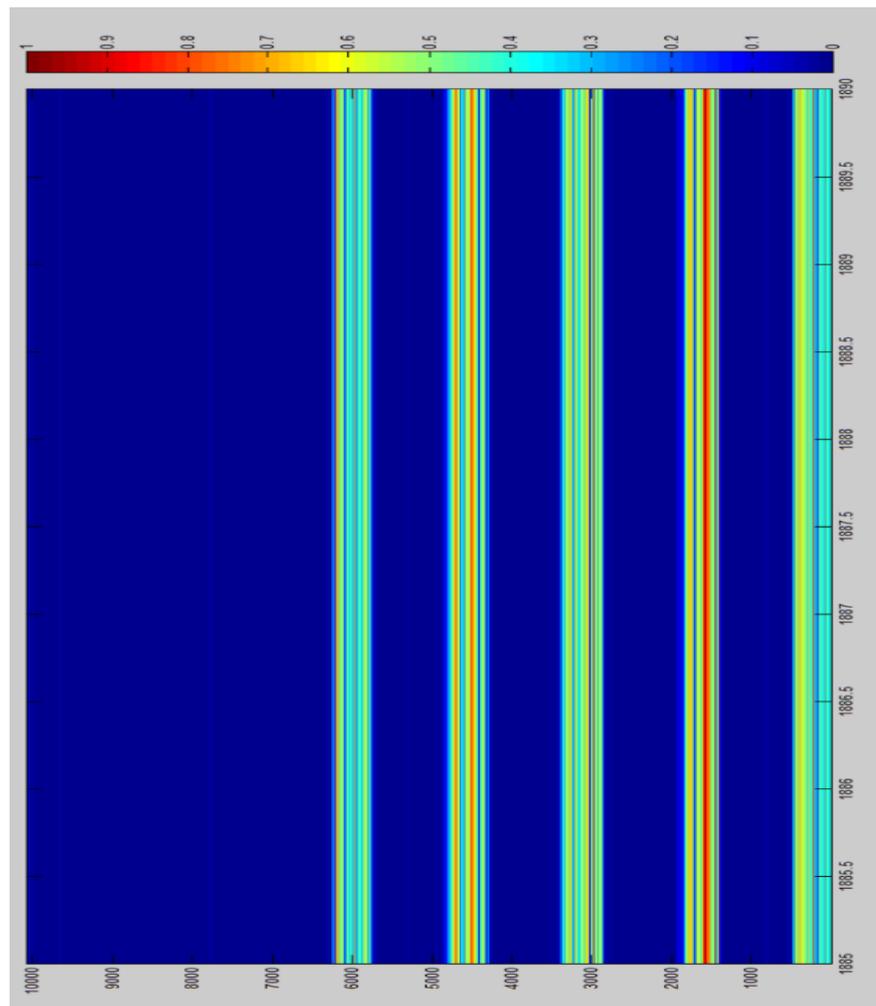
**Figura 4.2.2.13: Muestreo de la potencia**

**promedio canal1 Planta Baja**

Para estas nuevas graficas se mantiene la misma lógica que se utilizó anteriormente, pero el análisis ya no va a estar ligado con las

potencias, si no con el estado del canal, y esto puede resultar 1 si el canal está ocupado y 0 si está libre, es por esta razón que la barra de medición se encuentra en ese intervalo, estas graficas mostrarán de una manera óptima la disponibilidad del canal por piso y entregarán como conclusión si el análisis estadístico es necesario.

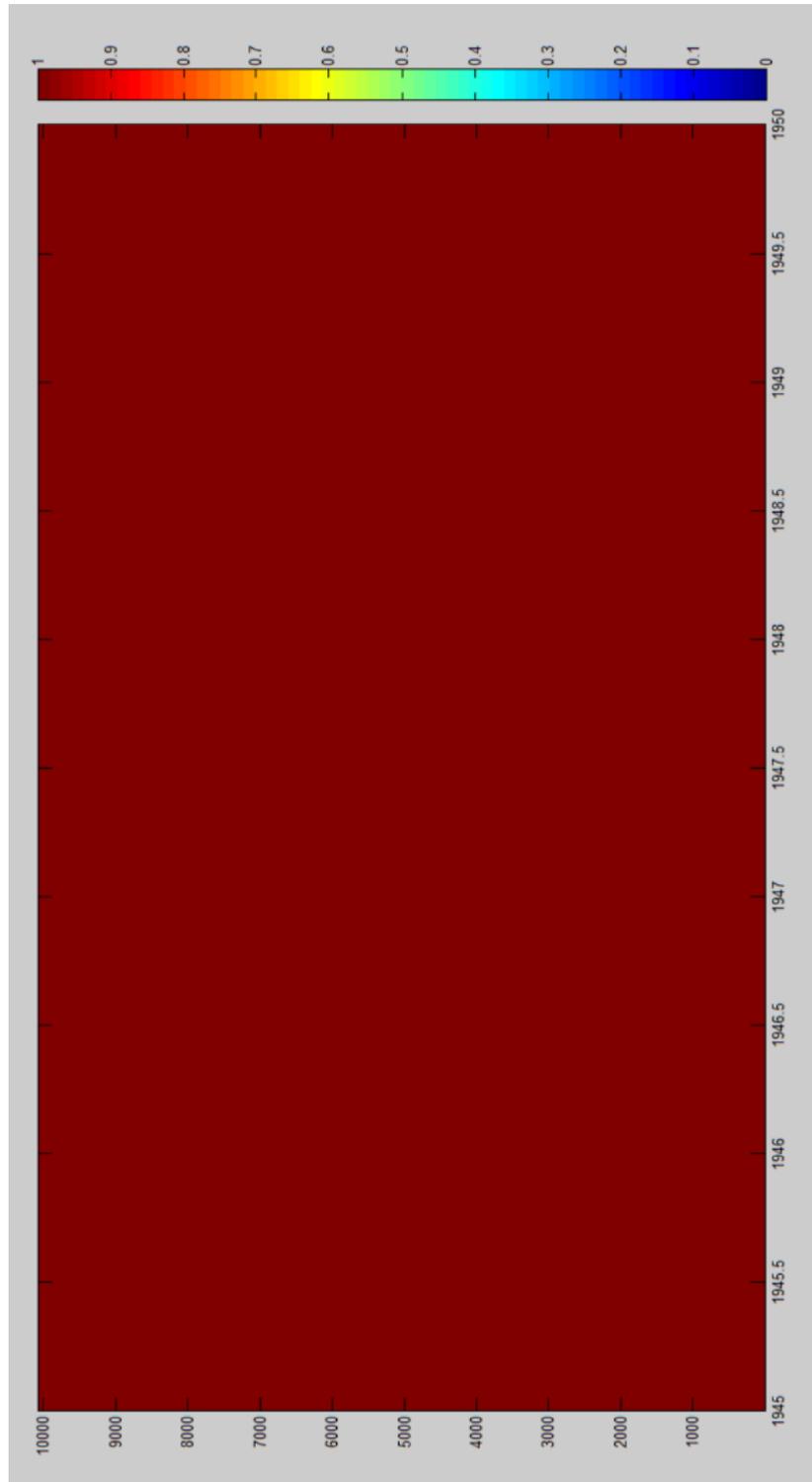
Como se puede observar en las siguientes figuras:



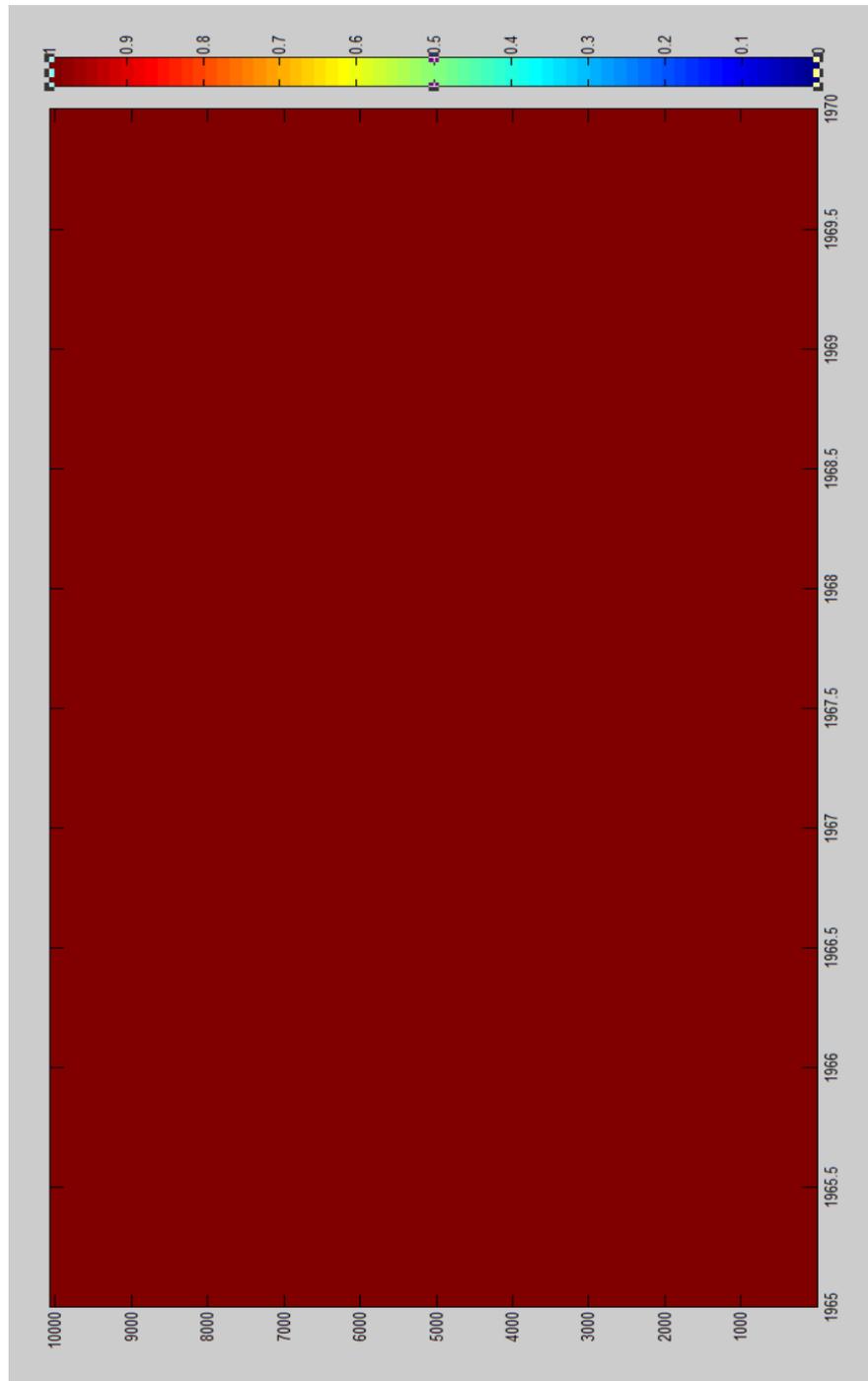
**Figura 4.2.2.14: Muestreo de la potencia**

**promedio canal2 Planta Baja**

Este canal cumple con las características para ser analizado estadísticamente, ya que cuenta con varios espacios de tiempo en los cuales el canal está siendo utilizado.



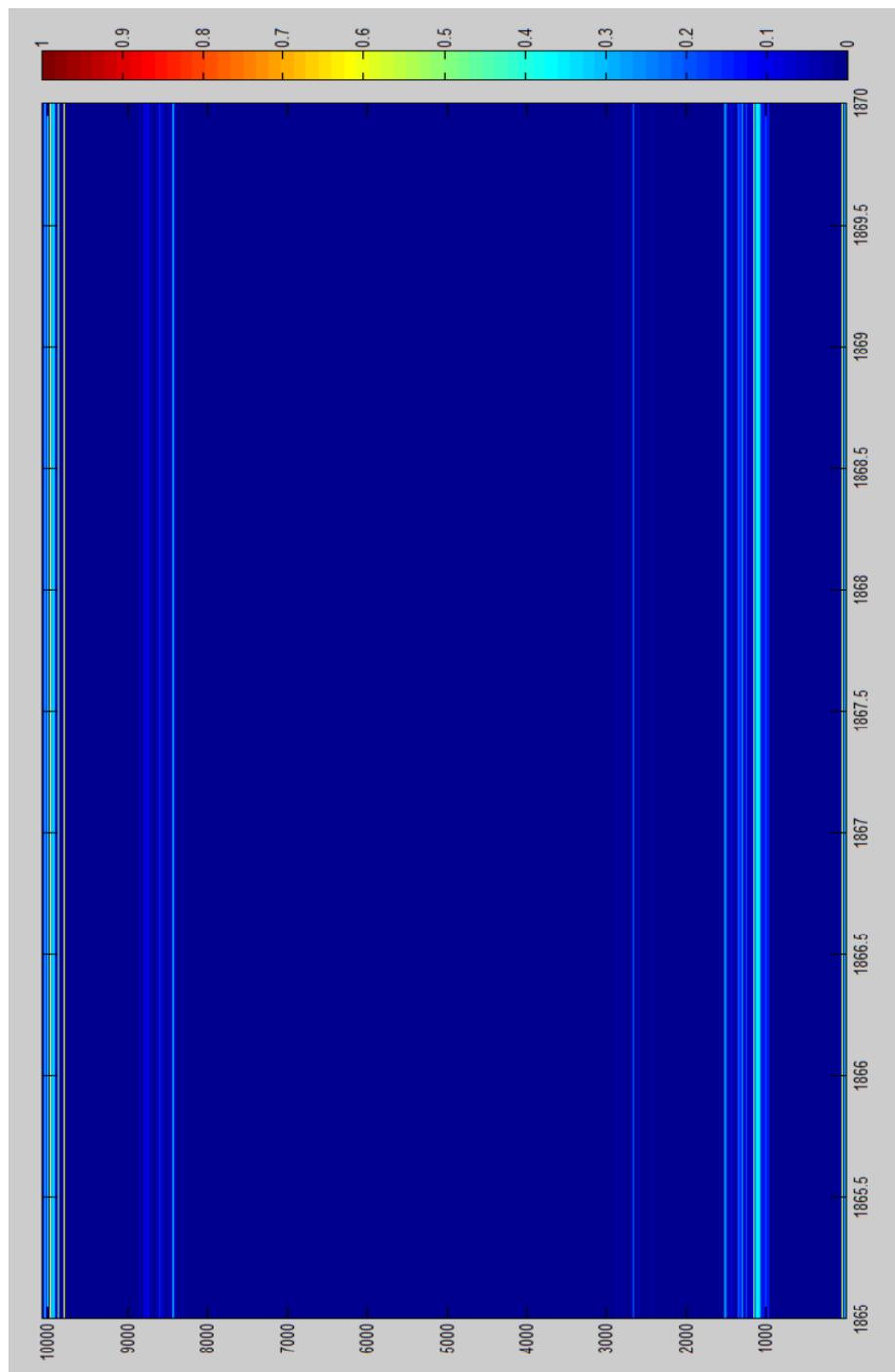
**Figura 4.2.2.15: Muestreo de la potencia promedio canal3 Planta Baja**



**Figura 4.2.2.16: Muestreo de la potencia**

**promedio canal4 Planta Baja**

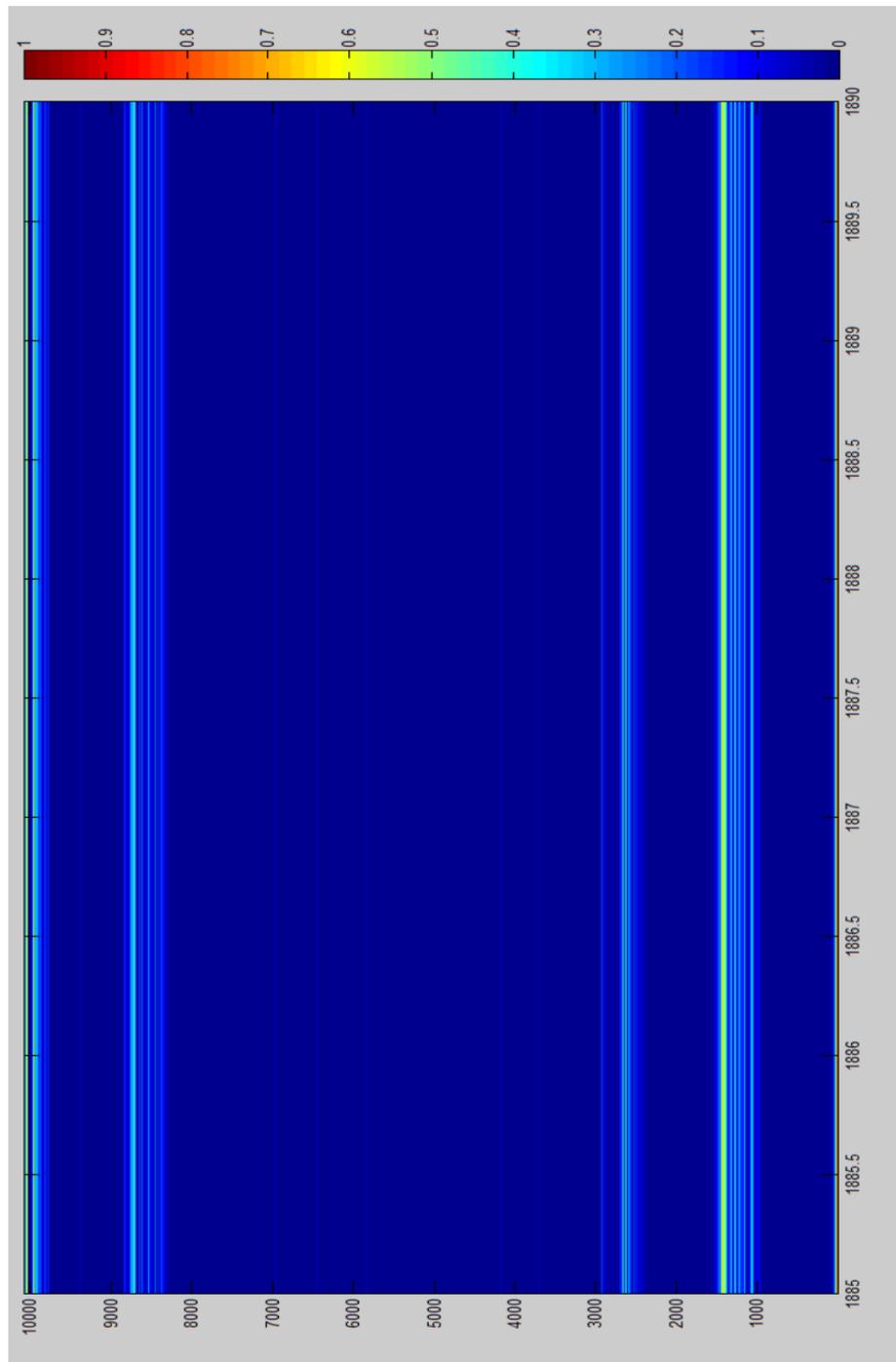
Los dos últimos canales se encuentran totalmente ocupados, y es por esta razón que no pueden ser analizados estadísticamente.



**Figura 4.2.2.17: Muestreo de la potencia**

**promedio canal1 Quinto Piso**

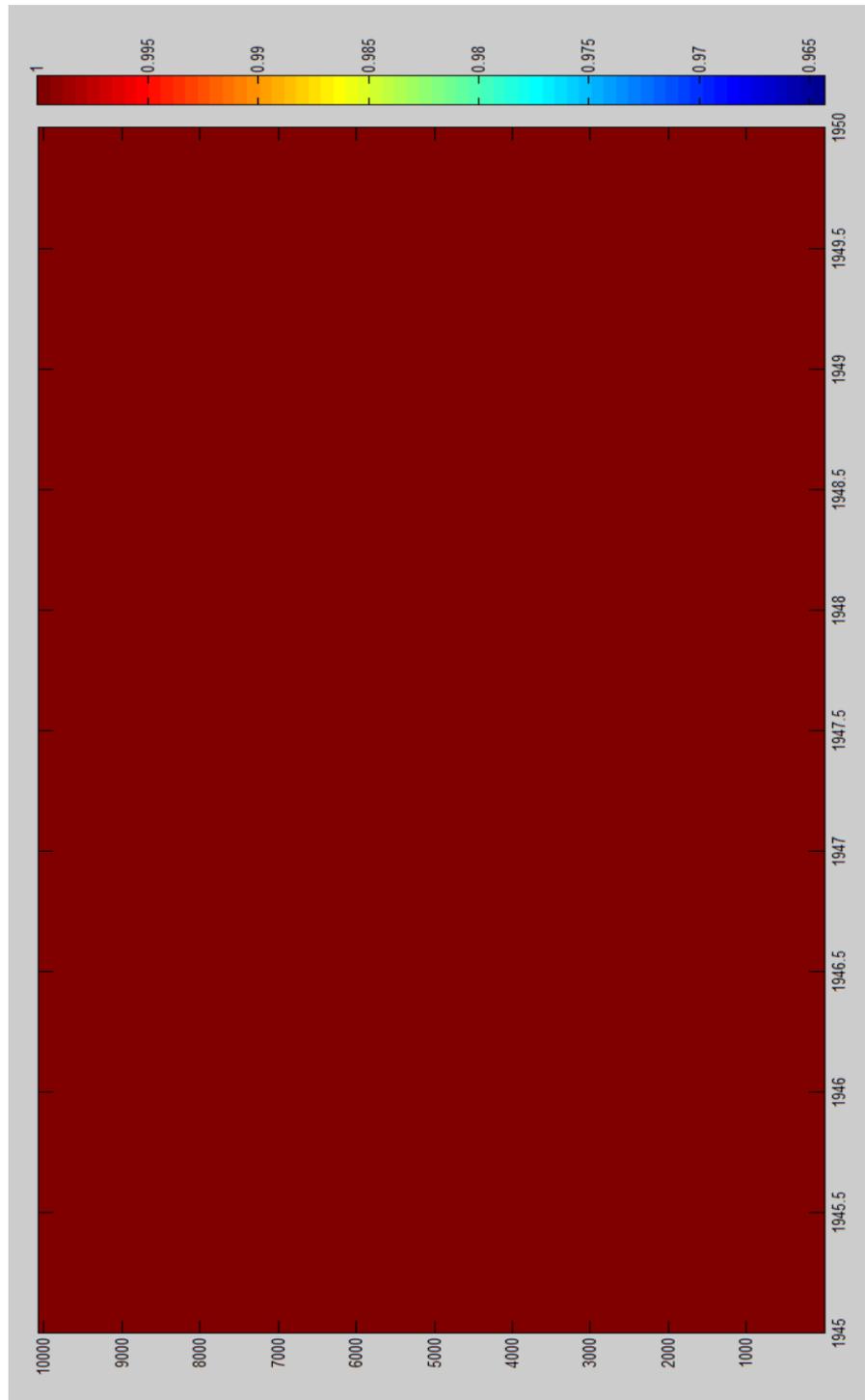
Este canal está apto para ser analizado, ya que tiene intervalos de tiempo en los cuales el canal está siendo utilizado.



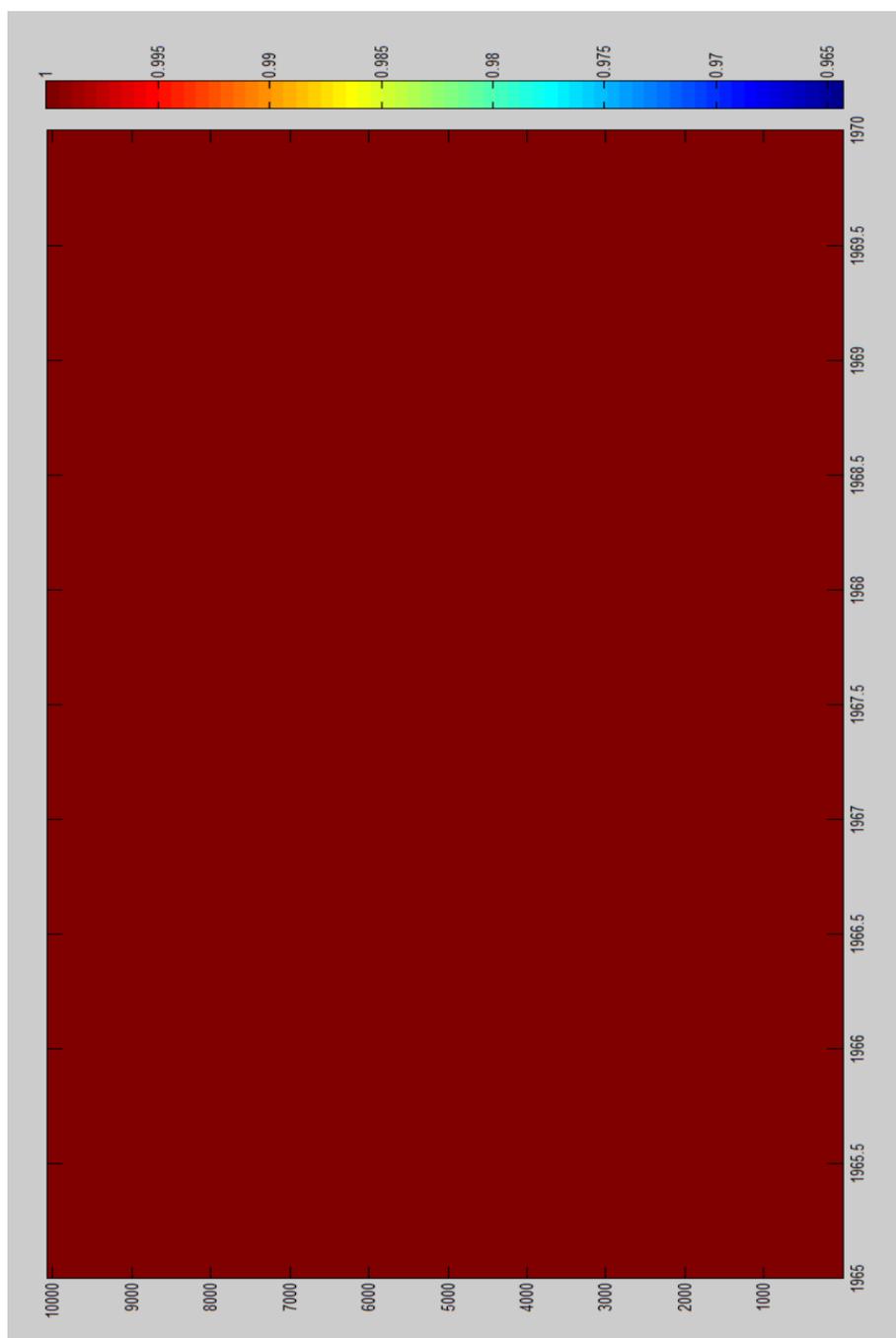
**Figura 4.2.2.18: Muestreo de la potencia**

**promedio canal2 Quinto Piso**

Este canal está apto para ser analizado, ya que tiene intervalos de tiempo en los cuales el canal está siendo utilizado.



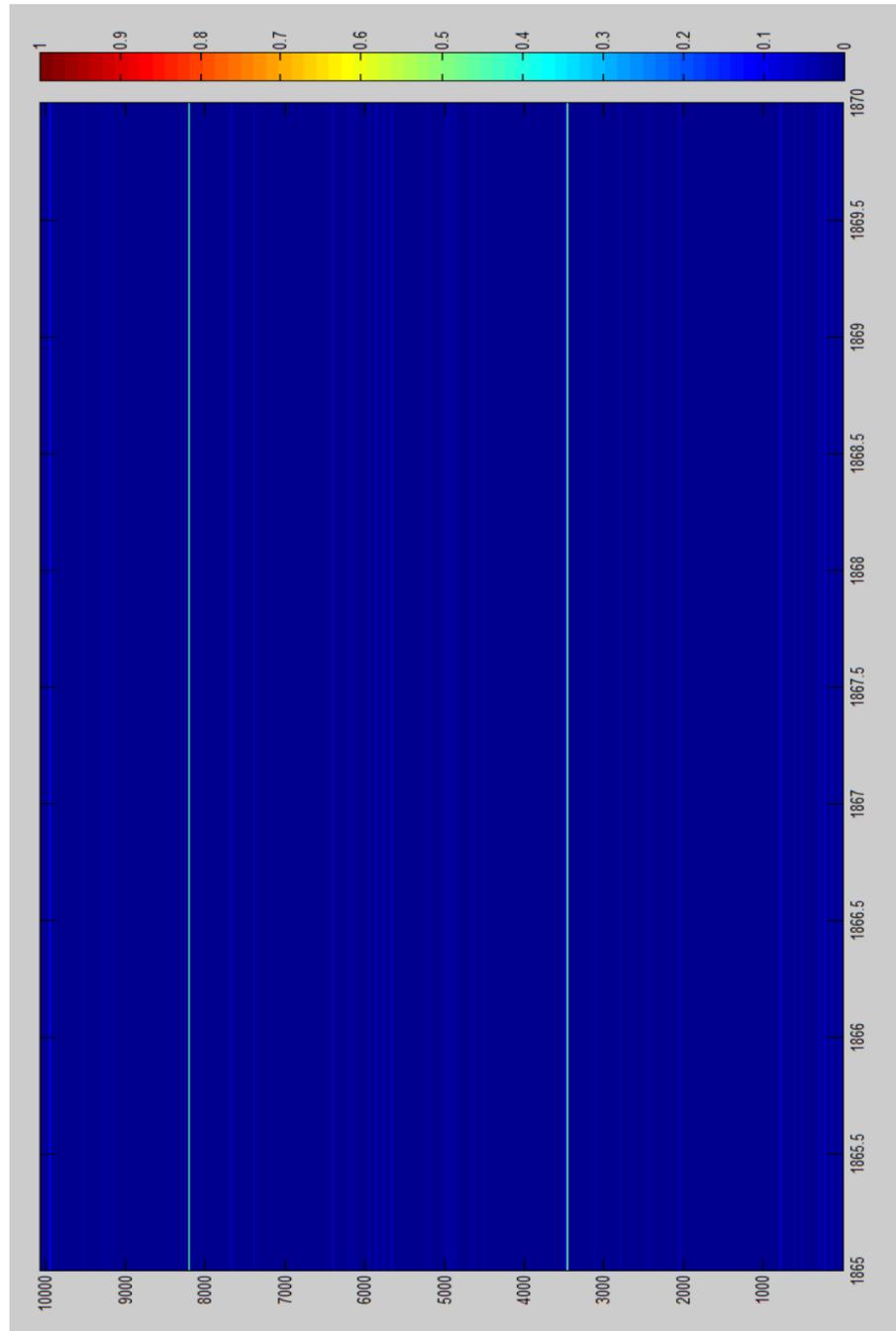
**Figura 4.2.2.19: Muestreo de la potencia promedio  
canal3 Quinto Piso**



**Figura 4.2.2.20: Muestreo de la potencia**

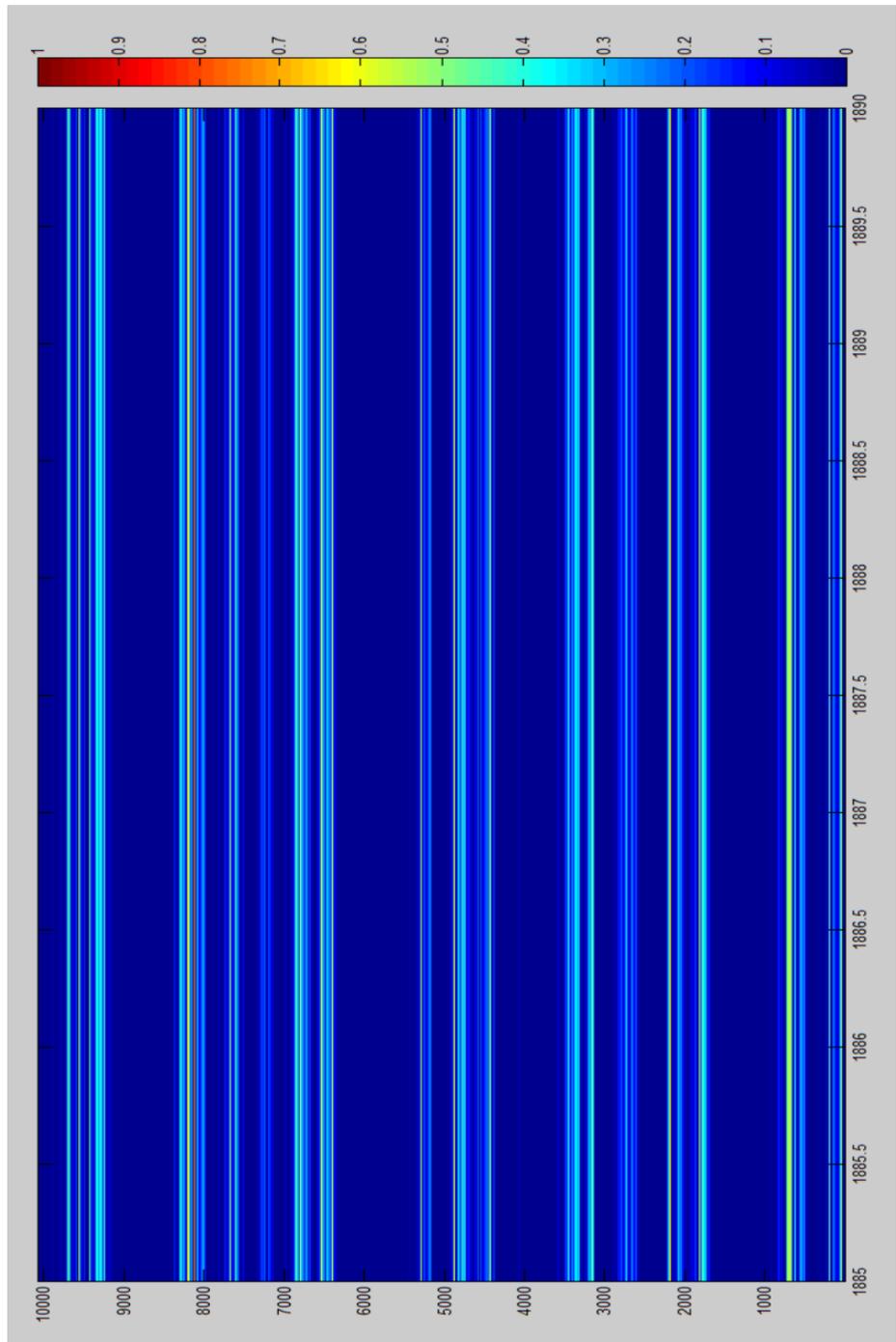
**promedio canal4 Quinto Piso**

Tal como se muestra en las figuras, estos dos canales no aplican para el análisis, ya que se encuentran ocupados la mayor parte del tiempo.



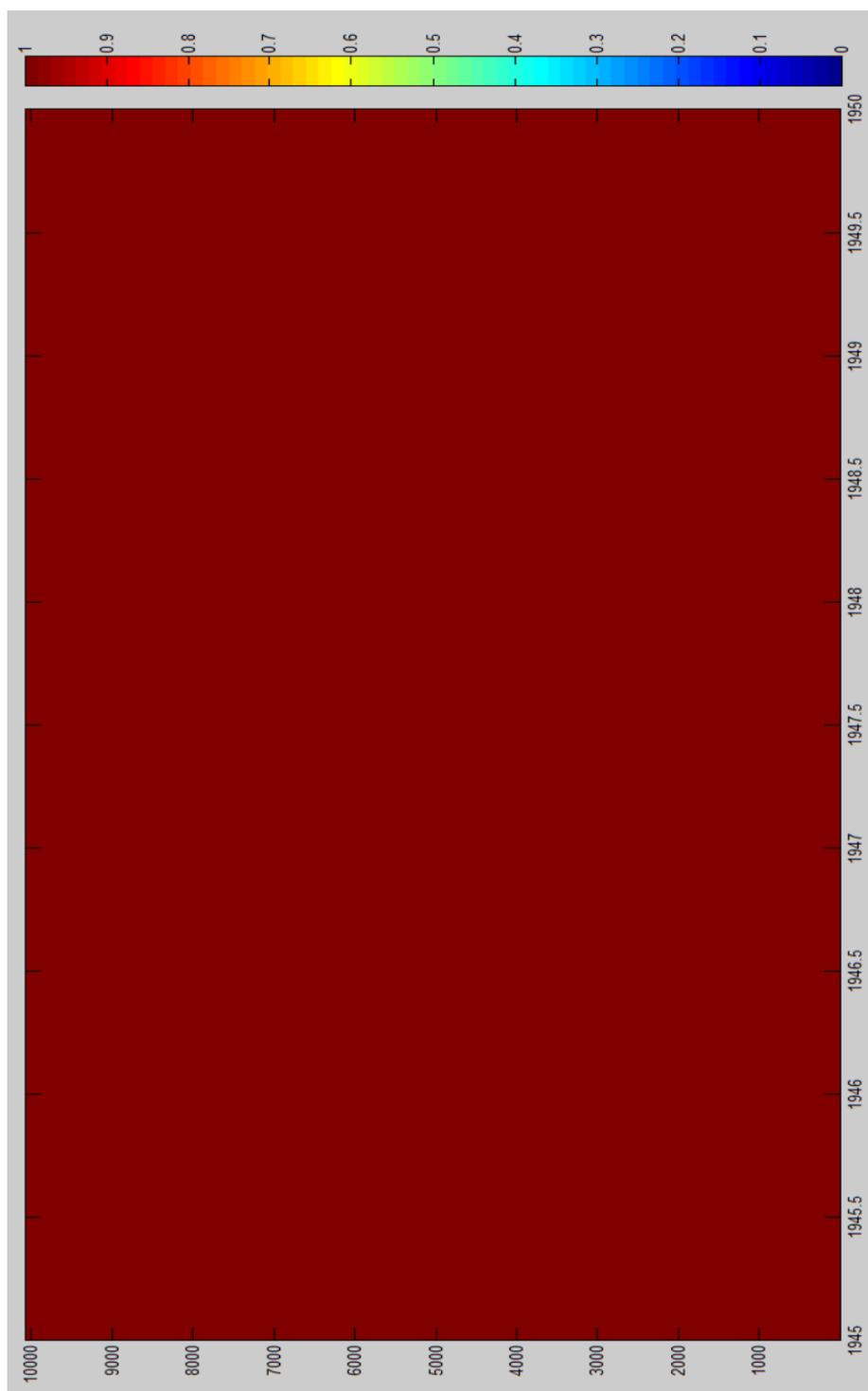
**Figura 4.2.2.21: Muestreo de datos de niveles de potencia promedio canal1 Decimo Primer Piso**

Como se puede observar en el gráfico, este canal está apto para ser analizado, ya que tiene intervalos de tiempo en los cuales el canal está siendo utilizado.

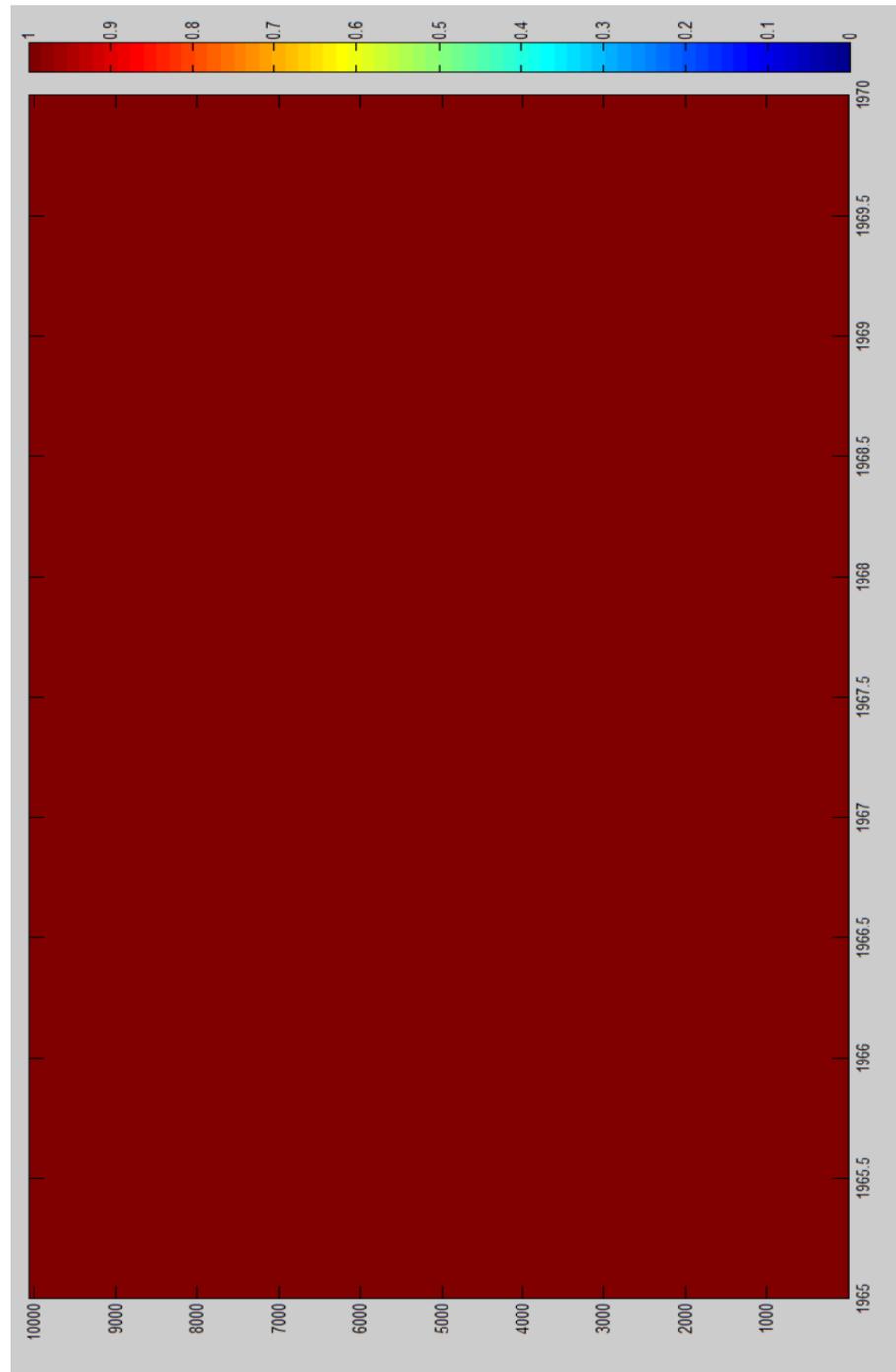


**Figura 4.2.2.22: Muestreo de datos de niveles de potencia promedio canal2 Decimo Primer Piso**

Este gráfico indica que el canal está apto para ser analizado, ya que tiene intervalos de tiempo en los cuales el canal está siendo utilizado.



**Figura 4.2.2.23: Muestreo de datos de niveles de potencia promedio canal3 Decimo Primer Piso**

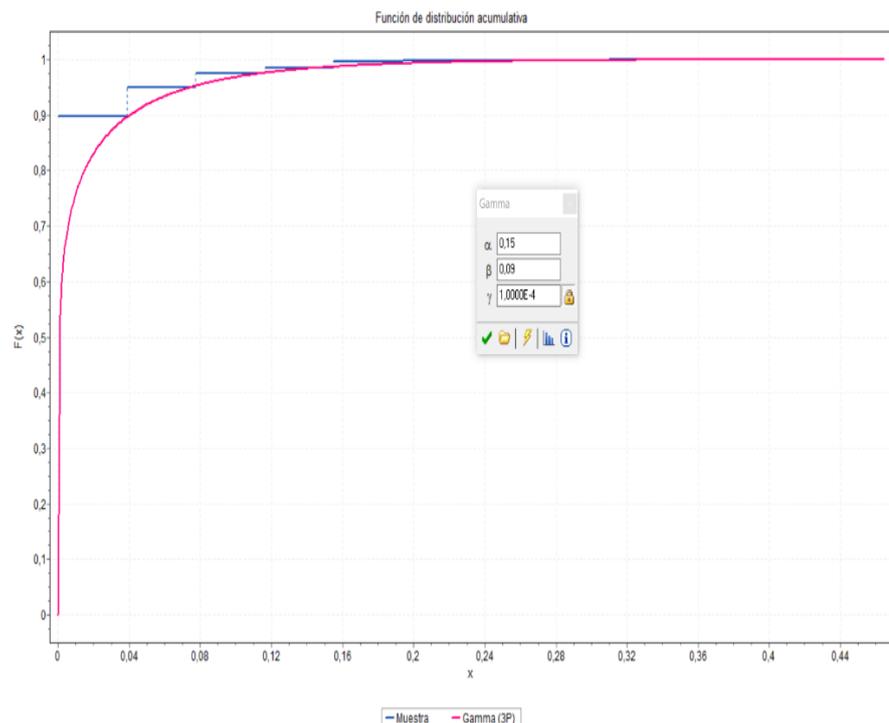


**Figura 4.2.2.24: Muestreo de datos de niveles de potencia promedio canal4 Decimo Primer Piso**

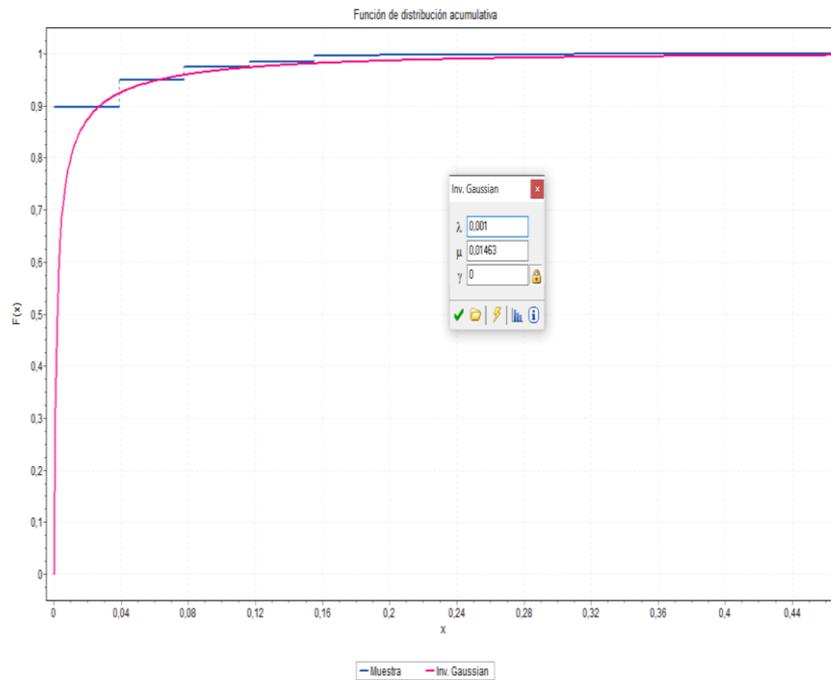
Tal como se muestra en las figuras, estos dos canales no aplican para el análisis, ya que se encuentran ocupados la mayor parte del tiempo

### 4.2.3 Obtención de gráficos estadísticos

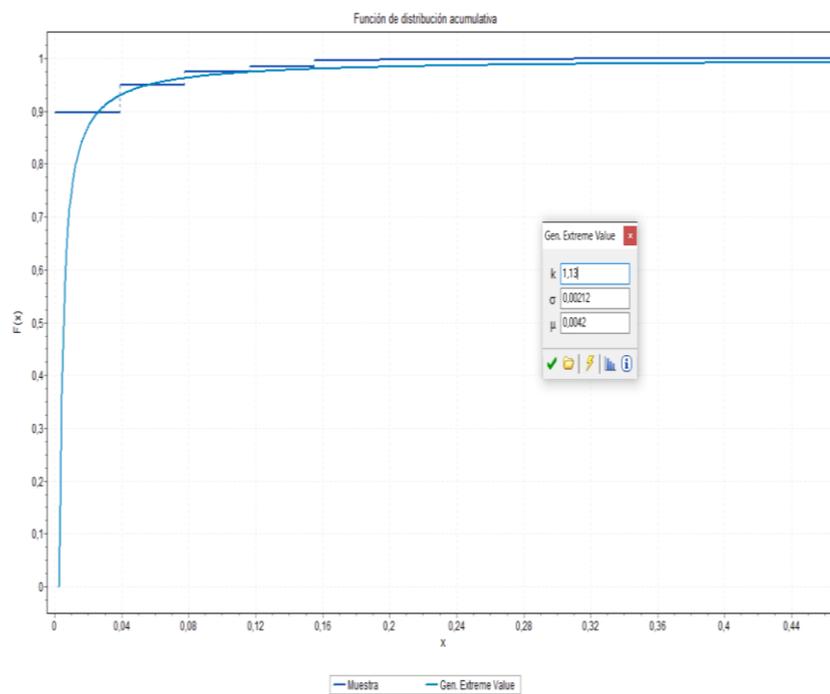
En esta parte del análisis los resultados se compararán de las muestras de los promedios obtenidos, es decir con los datos del subcapítulo 4.2.2 con variables estadísticas ya conocidas , para eso se utilizó la herramienta EASYFIT, es una aplicación para hacer análisis estadísticos el cual se basa en ingresar los datos de promedios de potencia y graficarlos, luego se compara con las variables estadísticas conocidas y se escoge las 3 que más se aproximan ,para nuestro análisis se escogieron las siguientes variables GAMMA, INV GAUSSIAN y GEN.EXTREME VALUE , esta mismas están detalladas en el capítulo 3 , al escoger 3 variables estadísticas es para tener un mejor resultado con respecto al análisis y tener mayor rango de referencias hacia una buena estimación en las siguientes imágenes se observa la comparación de las tres variables estadísticas con los datos obtenidos.



**Figura 4.2.3.1: Comparación de los datos obtenidos con la variable estadística GAMMA**



**Figura 4.2.3.2: Comparación de los datos obtenidos con la variable estadística INV.GAUSSIAN**

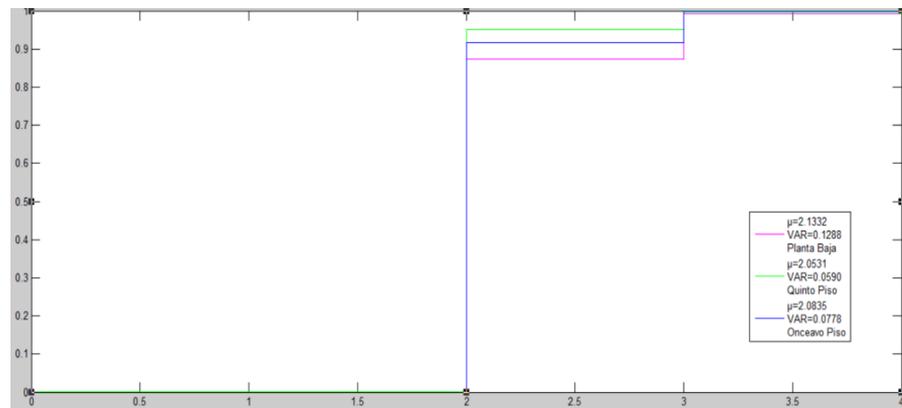


**Figura 4.2.3.3: Comparación de los datos obtenidos con la variable estadística GEN.EXTREME VALUE**

#### 4.2.4 Encontrar la mejor solución al problema

Luego del análisis que se realizó en los capítulos anteriores se llega a concluir la disponibilidad de los canales en los tres pisos analizados y también el mejor modelo estadístico que se adapta a nuestras muestras.

En el siguiente grafico se muestra la probabilidad de que se encuentre un canal libre en los tres pisos del edificio.



**Figura 4.2.4.1: Probabilidad de disponibilidad de canales libres**

Como se puede observar tenemos la probabilidad de más del 90% para encontrar dos canales libres, es decir en todo el análisis nosotros por piso tenemos dos canales para poder analizarlos para un posible proyecto que utilice las definiciones de OSA.

Una vez mostrado la disponibilidad se muestra los resultados estadísticos, para esto se recurrió al procedimiento matemático Kolmogorov-Smirnov el cual se basa en la bondad de ajuste, la bondad de ajuste nos indica que tanto se asemeja nuestra grafica de datos con la gráfica de una variable estadística, como se mencionó anteriormente se escogieron tres variables para tener un mayor rango de confiabilidad.

Para seleccionar la variable estadística que se asemeja a nuestra grafica de datos, se analizó rigurosamente cada canal en cada piso, luego de este mismo se escogió a la variable Gen.Extreme.Value. Ya

que al realizar las pruebas de bondad con el procedimiento de Kolmogorov-Smirnov fue aceptada en la mayoría de los pisos, las otras variables tenían más porcentaje de rechazo al ajuste de bondad, como se puede observar en el siguiente gráfico.

	Datos	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	CDF	GEN EXTREME	RESTA DE CDF	
	0	1667	1667	0,79456625	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
	0,035714286	217	1884	0,89799809	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
	0,071428571	106	1990	0,9485224	0,920492684	0,028029719	0,02249459
	0,107142857	56	2046	0,97521449	0,958640365	0,016574125	0,010117962
	0,142857143	20	2066	0,98474738	0,971471711	0,013275667	0,003742779
	0,178571429	23	2089	0,9957102	0,97801834	0,01769186	0,006729038
	0,214285714	6	2095	0,99857007	0,98202193	0,016548137	0,01368827
	0,321428571	2	2097	0,99952336	0,988201338	0,011322018	0,010368729
	0,464285714	1	2098	1	0,991781722	0,008218278	0,007741634
#Datos	2098					MAXIMO	0,028029719
						95%	0,029691775
k=		1,13					
$\alpha$ =		0,00212					<b>se acepta</b>
$\mu$ =		0,042					

**Figura 4.2.4.2: Análisis de Kolmogorov-Smirnov canal 1 Planta Baja**

En esta tabla se puede observar que se acepta el ajuste de bondad y se llega a la conclusión de que en ese canal en este piso nuestra adquisición de datos tiene una tendencia semejante a la variable estadística Gen.Extreme.Value, lo que significa que estos datos pueden ser modelados por la variable antes mencionada.

Ese mismo análisis se hizo para todos los pisos y todos los canales, tal como se muestra en las siguientes figuras.

datos	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	CDF	GEN EXTREME NO APLICA	resta de cdf NO APLICA	NO APLICA
0	1832	1832	0,873321258	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
0,03571429	76	1908	0,90943756	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
0,07142857	38	1946	0,92755005	0,918253975	0,009296072	0,008816416
0,10714286	38	1984	0,94566254	0,956980824	0,011318288	0,029430777
0,14285714	25	2009	0,95757865	0,970130542	0,012551896	0,024468007
0,17857143	11	2020	0,96282173	0,976878205	0,01405647	0,019299558
0,21428571	12	2032	0,96854147	0,981021949	0,012480481	0,018200214
0,25	9	2041	0,97283127	0,983840896	0,011009628	0,015299428
0,28571429	10	2051	0,97759771	0,985890453	0,008292741	0,013059185
0,32142857	6	2057	0,98045758	0,987451981	0,006994402	0,009854269
0,35714286	11	2068	0,98570067	0,988683744	0,002983077	0,008226165
0,39285714	4	2072	0,98760724	0,989681811	0,002074566	0,003981144
0,42857143	4	2076	0,98951382	0,990507982	0,000994159	0,002900737
0,46428571	5	2081	0,99189704	0,991203873	0,000693172	0,001690051
0,5	3	2084	0,99332698	0,991798572	0,001528406	9,84728E-05
0,53571429	5	2089	0,9957102	0,992313038	0,003397163	0,001013941
0,57142857	4	2093	0,99761678	0,992762769	0,004854009	0,002947431
0,60714286	1	2094	0,99809342	0,993159482	0,004933394	0,004457296
0,64285714	1	2095	0,99857007	0,993512203	0,005057864	0,00458122
0,85714286	1	2096	0,99904671	0,995016385	0,004030326	0,003553681
0,96428571	2	2098	1	0,995521657	0,004478343	0,003525054
#Datos	2098				maximo	0,029430777
			1,15			
			0,00212			
			0,042			0,029691775
						<b>se acepta</b>

Figura 4.2.4.3: Análisis de Kolmogorov-Smirnov  
canal 1 Quinto Piso

Datos	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	CDF	GEN EXTREME	Resta de CDF
0	1976	1976	0,94184938	NO APLICA	NO APLICA
0,03571429	88	2064	0,98379409	NO APLICA	NO APLICA
0,07142857	20	2084	0,99332698	0,966265789	0,027061189
0,10714286	6	2090	0,99618684	0,984214326	0,011972519
0,14285714	1	2091	0,99666349	0,989676361	0,006987128
0,17857143	2	2093	0,99761678	0,992323232	0,005293546
0,21428571	1	2094	0,99809342	0,993886581	0,004206841
0,42857143	1	2095	0,99857007	0,997240052	0,001330015
0,46428571	2	2097	0,99952336	0,997470416	0,00205294
0,5	1	2098	1	0,997665136	0,002334864
#Datos	2098				maximo valor
				95%	0,029691775
k=	1,01				<b><u>se acepta</u></b>
$\alpha=$	0,00102				
$\mu=$	0,042				

Figura 4.2.4.4: Análisis de Kolmogorov-Smirnov

canal 1 Décimo Primer Piso







# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

1. Para el presente trabajo, mediante las mediciones adquiridas y los análisis presentados anteriormente, se logró demostrar que existe la disponibilidad del canal para poder ser analizado mediante los conceptos de OSA para un posible uso del mismo en un futuro.
2. Por medio del análisis estadístico realizado, se puede concluir para este caso en particular, correspondiente a 4 canales de la tecnología 3G, que existe la disponibilidad de dos canales por piso y que existe una probabilidad del 90% de que estos canales se encuentren libres y así poder ser analizados.
3. Se pudo observar que los valores de potencia que se utilizan en el Ecuador se encuentran bajo el régimen del umbral a nivel mundial, esto quiere decir que la tecnología 3G está siendo correctamente utilizada en lo que a términos de potencia se refiere, sin embargo, en términos de uso oportuno del espectro no se afirmar lo mismo, ya que se encuentran canales libres en la mayoría del tiempo.
4. El modelo estadístico que se elige para un posible análisis que respete los conceptos de OSA, es la variable GEN.Extreme.Value, debido a que cumple con la mayoría de las características de la función estadística formada por los valores de los datos adquiridos en el presente trabajo.

## Recomendaciones

1. Para trabajos como este, es de vital importancia realizar una correcta configuración de los equipos a utilizar, tales como el USRP y la antena Sirio SD 2000, ya que si se presentan problemas en la configuración esto implicará obtener datos erróneos que no permitan realizar un correcto análisis estadístico.
2. Es preciso contar con conocimientos avanzados acerca de las herramientas utilizadas tales como, MATLAB, EASYFIT y EXCEL, ya que son programas de mucha utilidad para poder realizar el análisis de los datos.

3. Se recomienda que en futuros trabajos de investigación acerca de este mismo tema, se pueda realizar un análisis con más detalle, es decir, para el presente caso se podrían analizar todos los pisos del edificio, y así poder establecer si existe otro modelo estadístico que cumpla con las características del problema, y en caso de no ser así, dejar definido completamente que el presente análisis es el más apropiado para este caso en particular.
4. Con esta investigación se abre la oportunidad para que se puedan diseñar equipos que aprovechen los canales libres del espectro y así poder abrir las puertas hacia una nueva generación de tecnología que permita el acceso oportuno al espectro.
5. Los resultados obtenidos pueden ser usados para futuros estudios y también para una posible implementación, para así poder tener prototipos que utilicen esta tecnología e inclusive hacer pruebas con usuarios.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Martínez Evelio, "La Evolución de la Telefonía Móvil, La Guerra de los celulares", Revista RED, Bilbao, España, Mayo de 2011
- [2] FCC Spectrum Policy Task Force, "Report of the Spectrum Efficiency Working Group", Washington D.C., noviembre de 2002.
- [3] FCC, ET Docket No 03-222 Notice of Proposed Rule Making and Order. Diciembre de 2003.
- [4] 3GPP TS23.101 versión 3.1.0 "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)
- [5] Arcotel, "Plan Nacional de Frecuencias" Registro Oficial No. 832 de 06/08/2012
- [6] Arcotel, "Reglamento de abonados de Servicios de Telecomunicaciones" Resolución Oficial TEL-477-16 de 06/08/2012
- [7] Dr. Freddy Villao Q. "El derecho de las Telecomunicaciones." Espol – Centro de Difusion y Publicaciones, Guayaquil, Ecuador, Agosto de 2006
- [8] Kantel Efrain, Tovar Gerardo, Serrano Arturo, "Diseño de un Entorno Colaborativo Móvil para apoyo al aprendizaje a través de dispositivos móviles de tercera generación" Proc. IEEE-RITA Vol. 5, Núm. 4, pag. 32, Nov. 2010
- [9] Gomez Ponce Jorge L, "Modelado de la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA) en una zona urbana" Tesis de maestría, FIEC, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2015
- [10] R. Coase, "The federal communications commission," J. Law and Economics, pp. 1–40, 1959.
- [11] D. Hatfield and P. Weiser, "Property rights in spectrum: Taking the next step," in Proc. 1st IEEE Symp. New Frontiers Dynamic Spectrum Access Networks, Nov. 2005, pp. 43-55.
- [12] W. Lehr and J. Crowcroft, "Managing shared access to a spectrum commons,". Dynamic Spectrum Access Networks, Nov. 2005, pp 420-444.

- [13] Zambrano Caceres Paula A, "Análisis del impacto en la migración 3G a 4G en la modernización de los equipos de telecomunicaciones utilizados en radiobases por las operadoras móviles en el Ecuador", Tesis de Ingeniería en Telecomunicaciones, FET, UCSG, Guayaquil. Ecuador, 2015.
- [14] Clint Smith, P.E., Collins D. "3G Wireless Networks Second Edition", McGraw-Hill, Inc, New York, NY, USA, 2007.
- [15] Q. Zhao y B. M. Sadler. A survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy. En: IEEE Signal Processing Magazine, Vol.24, No.3, mayo de 2007. p79-89.
- [16] Akyildiz, Ian F, LEE, Won-Yeol; VURAN, Mehmet C; "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey". School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, May 2006
- [17] BERLEMANN, Lars; DIMITRAKOPOULOS, George; MOESSNER. Klaus; HOFFMEYER, Jim; "COGNITIVE RADIO AND MANAGEMENT OF SPECTRUM AND RADIO RESOURCES IN RECONFIGURABLE NETWORKS" Wireless Word research Forum, Working Group 6 (WG6). White paper.
- [18] WANG, B. AND K. J. R. LIU Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey. IEEE J. Sel. Topics Signal Process., 2011, 5(1), 5 - 22.
- [19] ZHAO, J., H. ZHENG AND G.-H. YANG. Distributed coordination in dynamic spectrum allocation networks. In New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on. 2005, p. 259 268.
- [20] B. Wild and K. Ramchandran, "Detecting primary receivers for cognitive radio applications," in Proc. of IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Nov. 2005.
- [21] REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY DE TELECOMUNICACIONES REFORMADA Registro Oficial No. 404 del 4 de septiembre de 2001

- [22] Q. Zhao and A. Swami, "A decision-theoretic framework for dynamic spectrum access," to appear in IEEE Wireless Communications Magazine: Special Issue on Cognitive Wireless Networks.
- [23] J. Tang, S. Misra y G. Xue. Spectrum Allocation and Scheduling in Dynamic Spectrum Access Wireless Networks. En: Proceedings of International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness 2007 (Qshine 2007), agosto 14-17 de 2007.
- [24] CHEN, Kwang-Cheng; PRASAD, Ramjee: "COGNITIVE RADIO NETWORKS". Editorial Wiley. Chippenham, England. 2009
- [25] LIANG, Y.-C., K.-C. CHEN, G. Y. LI AND P. MÄHÖNEN Cognitive Radio: Networking and Communications An Overview. IEEE Trans. Veh. Technol., 2011, 60(7), 3386 - 3407.
- [26] O DANIELL, James; "ANALYSIS AND DESIGN OF COGNITIVE RADIO NETWORKS AND DISTRIBUTED RADIO RESOURCE MANAGEMENT ALGORITHMS". Virginia Polytechnic Institute Degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering. Blacksburg, VA. September 6, 2006
- [27] CHOWDHURY, K. R. AND I. F. AKYILDIZ Cognitive Wireless Mesh Networks with Dynamic Spectrum Access. IEEE J. Sel. Areas Commun., January 2008, 26(1), 168181.
- [28] W. Lehr and J. Crowcroft, "Managing shared access to a spectrum commons," in Proc. 1st IEEE Symp. New Frontiers Dynamic Spectrum Access Networks, Nov. 2005, pp. 420-444.
- [29] Q. Zhao, L. Tong, and A. Swami, "Decentralized cognitive MAC for dynamic spectrum access," in Proc. IEEE Symp. New Frontiers Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), Nov. 2005, pp.224-232.
- [30] A.J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley Publishing Co., 1995.

- [31] C. Raman, R. Yates, and N. Mandayam, "Scheduling variable rate links via a spectrum server," in Proc. 1st IEEE Symp. New Frontiers Dynamic Spectrum Access Networks, 2005, pp. 110–118.
- [32] R. Etkin, A. Parekh, and D. Tse, "Spectrum sharing for unlicensed bands," in Proc. 1st IEEE Symp. New Frontiers Dynamic Spectrum Access Networks, 2005, pp. 251-258.
- [33] H. Zheng and C. Peng, "Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications (ICC), 2005, pp. 3132-3136.
- [34] Q. Zhao, "Spectrum opportunity and interference constraint in opportunistic spectrum access," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP), April 2007.
- [35] P. Pawelczak y otros, "State of the art in opportunistic spectrum access medium access control design", in Proc. IEEE International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom), mayo 2008, pp. 1-6.
- [36] R. Urgaonkar y M. Neely, "Opportunistic scheduling with reliability guarantees in cognitive radio networks", in Proc. IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), 2008, pp. 1301-1309.
- [37] HU, Fei; XIAO, Yang; "COGNITIVE RADIO NETWORKS". Editorial CRC Press. Boca Raton, FL. USA. 2009.
- [38] HAYKIN, Simon; "COGNITIVE RADIO BRIAN-EMPOWERED WIRELESS COMUNICATIONS" IEEE Journal on Selected Areas in Communications February 2005.
- [39] Comission for Communications Regulation (ComReg). "DYNAMIC SPECTRUM ACCESS- Briefing Note". Document No 07/22 13 Abril 2007.
- [40] McHENRY, Mark; McCLOSKEY, Dan; ROBERSON, Denis; McDONAL, John; "SPECTRUM OCCUPANCY MEASUREMENTS, Chicago, Illinois". Technical Report (Nov. 16-18, 2005). Shared Spectrum Company.

- [41] ARSLAN Huseyin; "COGNITIVE RADIO, SOFTWARE DEFINED RADIO, AND ADAPTIVE WIRELESS SYSTEMS". Editorial Springer. Dordrecht, Holanda 2007
- [42] Wireless Innovation Forum (SDR Forum). <http://www.wirelessinnovation.org/>
- [43] FETTE, Bruce; "COGNITIVE RADIO TECHNOLOGY". Editorial Academic Press AP, Segunda Edicion. Burlington, MA. USA. 2009
- [44] ERPEK, Tugba; STEADMAN, Karl; JONES, David; "SPECTRUM OCCUPANCY MEASUREMENTS, Dublin, Irlanda". Technical Report (Apr. 16-18,2007). Shared Spectrum Company.
- [45] BERLEMANN, Lars; "DISTRIBUTED QUALY-OF-SERVICE SUPPORT IN COGNITIVE RADIO NETWORKS". Facultad de Ingenieria Electronica e Informatica de la Rheinisch- Westfalische Technische Hochschule. Aachen, Alemania. Tesis Doctoral en Inenieria. Febrero 2006
- [46] DOYLE, Linda; "ESSENTIALS OF COGNITIVE RADIO". Cambridge University Press, Cambridge Wireless Essentials Series. New York, USA. 2009
- [47] HOSSAIN, Ekram; BHARGAVA, Vijay: "COGNITIVE WIRELESS COMMUNICATION NETWORKS" Editorial Springer. New York, USA. 2007
- [48] MITOLA, Joseph III; MAGUIRE, Gerald Jr.; "COGNITIVE RADIO: MAKING SOFTWARE RADIOS MORE PERSONAL". IEEE Personal Communications, Agosto 1999
- [49] O.K. JENSEN, T.E. KOLDING, C.R. IVERSEN, S. LAURSEN, R.V. REYNISSON, J.H. MIKKELSEN, E. PEDERSEN, M.B. JENNER, T. LARSEN "RF RECEIVER REQUIREMENTS FOR 3G W-CDMA MOBILE EQUIPMENT" Aalborg University, RISC Group Aalborg, Denmark, 2000.

## SD 2000 U / N

### Extremely Wide-Band Suitable For Scanner Use

#### Features:

- Base station antenna, Omnidirectional
- Unity-gain
- Extremely wide-band suitable for scanner use
- Transmission capability in several Ham bands
- Perfect protection against the worst weather conditions
- Stainless steel hardware and radials
- Equipped with anodized aluminium bracket for an easy side mast installation
- 17/7 PH stainless steel cylindrical whip

#### Part Numbers:

- P/N 2109005.00 SD 2000 U
- P/N 2109105.00 SD 2000 N

#### Electrical Data:

- Type: discone
- Frequency range:  
RX band: 100-2000 MHz  
TX band (@ SWR  $\leq 2$ ): 130-160, 215-440, 610-685, 870-960, 1070-1500, 1620-1800, 1860-2000 MHz
- Polarization: linear vertical
- Gain: 0 dBd - 2.15 dBi @ lowest frequency
- Max. power (CW) @ 30°C: 200 Watts
- Connector:  
SD 2000 U: UHF-female, gold plated central pin  
SD 2000 N: N-female, gold plated central pin

#### Mechanical Data:

- Materials: Stainless Steel, Chromed Brass, Nylon
- Height (approx.): 900 mm
- Weight (approx.): 1020 gr
- Mounting mast:  $\varnothing$  25-54 mm

